


Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
 Отделение школы (НОЦ): Электроэнергетики и электротехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка системы электроснабжения предприятия по производству кабельной продукции с детальной проработкой цеха телефонных кабелей</b>

УДК 658.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Д	Патрушев Александр Вадимович		01.06.20

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тарасов Е. В.	к.т.н., доцент		01.06.20

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Е. С.			01.06.20

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			01.06.20

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В	к.т.н., доцент		01.06.20

Томск – 2020 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), УК-5 *(ОК-6)), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5 *(ОК-6), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5*(ОК-6), УК-7 *(ОК-8), УК-8 *(ОК-9), ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-6 *(ОК-7), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
По профилям подготовки		
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-1 *(ОК-1, ОК-2), УК-2 *(ОК-3, ОК-4), УК-3 *(ОК-5), УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ОПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2 *(ОК-3, ОК-4), ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические системы и их компоненты.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2*(ОК-3, ОК-4), ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038,</i>

		25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-4, ОПК-5, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8 ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> , 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (специальность) 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Шестакова В.В.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Д	Патрушеву Александру Вадимовичу

Тема работы:

Разработка системы электроснабжения предприятия по производству кабельной продукции с детальной проработкой цеха телефонных кабелей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-26/с 27.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.20

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является цех по производству измерительных инструментов инструментального завода. В качестве исходных данных представлены: - генеральный план завода; - план цеха по производству измерительных инструментов; - сведения об электрических нагрузках завода; - сведения об электрических нагрузках цеха по производству измерительных инструментов.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Введение; Описание предприятия; Картограмма и определение центра электрических нагрузок; Схема внешнего и внутрипроизводственного электроснабжения; Внутривзаводская распределительная сеть 10 кВ; Расчет токов короткого замыкания в сетях выше 1000 В;


	Электроснабжение цеха по ремонту оборудования; Расчет электрической сети по потере напряжения; Расчет токов короткого замыкания в сетях ниже 1000 В; Построение карты селективности действия защитных аппаратов; Социальная ответственность; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Заключение.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема внутризаводской распределительной сети Однолинейная схема электроснабжения предприятия Однолинейная схема электроснабжения цеха Карта селективности, Эпюры отклонений напряжения
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С.
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л.

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Муравлёв А.И.			27.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Д	Патрушев Александр Вадимович		27.01.2020

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроснабжение

Уровень образования Бакалавриат

Период выполнения (осенний/весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.02.2020	Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет нагрузок цеха.	10
20.02.2020	Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.	15
07.03.2020	Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.	15
26.03.2020	Выбор и проверка внутризаводских линий. Расчет потерь в КТП и внутризаводских линиях. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП. Выбор и проверка питающих линий ГПП.	10
28.03.2020	Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских линий по токам КЗ.	5
04.04.2020	Выбор и проверка высоковольтного оборудования	10
11.04.2020	Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1000В. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В. Выбор аппаратов защиты и построение карты селективности действия защитных аппаратов. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.	10
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
18.05.2020	Социальная ответственность	10
	<b>Итого</b>	<b>100</b>

**СОСТАВИЛ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Тарасов Е. В.	к.т.н, доцент		27.01.2020

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		27.01.2020

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Д	Патрушеву Александру Вадимовичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:


1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Срок окупаемости - 30 лет; 30% премии; 20% надбавки; 13,5% дополнительная заработная плата; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Осуществление оценки производится на основе анализа конкурентных технических решений, а также SWOT-анализа
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет временных показателей проведения исследования ТП. Составление календарного план-графика. Группировка финансов по статьям затрат и расчет каждой из них
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального ресурсного показателя эффективности научного исследования
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ 4. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к. э. н.		30.01.20

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Д	Патрушев Александр Вадимович		30.01.20

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Д	Патрушев А. В.

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

«Разработка системы электроснабжения предприятия по производству кабельной продукции с детальной проработкой цеха телефонных кабелей»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:


1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Система электроснабжения завода по производству измерительных инструментов и детальная проработка энергоснабжения инструментального цеха.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	Нормативные требования охраны труда: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</li> <li>– ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</li> <li>– Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.</li> <li>– ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенное значение уровня шума</li> <li>– Повышенное значение уровня вибрации</li> <li>– Механические травмы</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>– Электробезопасность на производстве (поражение электрическим током)</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбросы вредных отходов в атмосферу, литосферу и гидросферы. Последствия газообразных выбросов и влияние на атмосферу</li> <li>– Утилизация отходов без ущерба окружающей среде</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ЧС техногенного характера на производстве: Возгорание/пожар, неожиданное разрушение конструкций, зданий, сооружений.</li> <li>– Наиболее вероятное ЧС в цехе - пожар</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			30.01.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Д	Патрушев А. В.		30.01.20



## Оглавление

Реферат	12
Условные обозначения и сокращения	13
Введение	14
1 Общие сведения об объекте электроснабжения	15
1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности	15
1.2 Технологический процесс	16
1.3 Инженерные изыскания	18
1.3.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности	18
1.3.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности	18
1.3.3 Инженерные изыскания по гидрологическим условиям местности	19
1.4 Особенности электроснабжения предприятия	19
1.5 Исходные данные	19
2 Электроснабжение объектов на территории предприятия	25
2.1 Определение расчетной нагрузки цеха	25
2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия	30
2.3 Картограмма электрических нагрузок	35
2.4 Распределение источников питания по территории предприятия	41
2.5 Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия	45
2.6 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	48
3 Внешнее электроснабжение предприятий	57
3.1 Разработка схемы внешнего электроснабжения	57
3.2 Выбор силового оборудования	59
3.2.1 Выбор выключателей и разъединителей	59
3.2.2 Выбор измерительных трансформаторов тока	61
3.2.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения	64
3.2.4 Выбор ограничителя перенапряжения	66
3.2.5 Выбор трансформаторов собственных нужд	66
3.3 Разработка схемы закрытого распределительного устройства	67

4 Электроснабжение промышленных потребителей в здании цеха	70
4.1 Распределение электроприёмников цеха по пунктам питания	70
4.2 Расчет электрических нагрузок производственного помещения	73
4.3 Выбор защитных аппаратов и проводников	80
4.4 Оценка установившегося отклонения напряжений	89
4.5 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В	94
4.6 Построение карты селективности действия аппаратов защиты	97
4.7 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ	100
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	103
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	103
5.2 Планирование технико-конструкторских работ	109
5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	115
5.4 Оценка ресурсоэффективности проекта	120
Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	121
6. Социальная ответственность	122
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	122
6.2 Производственная безопасность	125
6.3 Экологическая безопасность	132
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	134
Выводы по разделу	135
Заключение	136
Список использованных источников	138
Приложение А. Картограмма нагрузок	143
Приложение Б. План местности с нанесенными объектами и устройствами электроснабжения	144
Приложение В. Схема силовой сети деревообрабатывающего цеха	145

Приложение Г. Принципиальная схема комплектной трансформаторной подстанции	146
Приложение Д. Однолинейная схема распределительного пункта ПР1	147
Приложение Е. Однолинейная схема электроснабжения предприятия	148
Приложение Ж. Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности	149

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 141 страницу, 22 рисунка, 53 таблицы, 51 источник, 7 приложений.

Ключевые слова: цех телефонных кабелей, схема электроснабжения, линия, сеть, кабель, электроприемник, нагрузка, выбор оборудования, линейная схема, выбор трансформаторов.

Цель работы – проектирование электроснабжения промышленного предприятия, выбор необходимого оборудования.

В результате проекта спроектирована схема электроснабжения предприятия от энергосистемы до конечного электроприемника. Был произведен расчет электрический расчет нагрузок сперва цеха, а затем и всего предприятия. На результате полученных данных был произведен расчет токов и напряжений энергосистемы. На основании полученных данных произведен подбор и проверка электрооборудования. Полученным результатом является проект по электроснабжению механического предприятия.

Результаты данной работы могут быть использованы на Режевском кабельном заводе. Особенностью спроектированной схемы является возможность дальнейшего расширения предприятия с ростом электрической нагрузки.

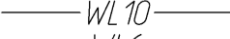




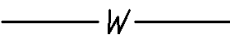
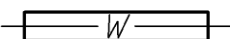
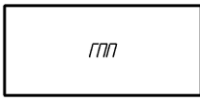
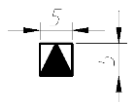






## Условные обозначения и сокращения

В разделе приведены сокращения и графические обозначения, используемые при выполнении курсового проекта.

### Сокращения

ГПП – главная понизительная подстанции 220-110/10 кВ;  
ТП – трансформаторная подстанция 6-10 кВ;  
РП – распределительный пункт 6-10 кВ;  
ВРУ – вводное распределительное устройство 0,4 кВ;  
РУвн – распределительное устройство высокого напряжения, свыше 1000 В;  
РУнн – распределительное устройство низкого напряжения, ниже 1000 В;  
ЦН – центр электрических нагрузок;  
ВЛ – воздушная линия электропередач;  
КЛ – кабельная линия электропередач.

### Графические обозначения

	– Воздушная линия электропередач 6-10 кВ
	
	– Воздушная линия электропередач 0,4 кВ
	– Кабельная линия 6-10 кВ
	
	– Кабельная линия 0,4 кВ
	– Кабельная линия в термостойкой защитной трубе
	– Главная понизительная подстанция (размер фигуры чертится в соответствии с масштабом чертежа и классом напряжения подстанции)
	– Трансформаторная подстанция 6-10/0,4 кВ
	– Распределительное устройство 6-10 кВ
	– Распределительное устройство 0,4 кВ
	– Опора воздушной линии проходная
	– Опора воздушной линии анкерная концевая
	– Опора воздушной линии анкерная поворотная
	– Анкерное крепление провода на опоре воздушной линии

## Введение

Научно-технический прогресс, конкуренция, условия рынка создают необходимость совершенствования оснащения промышленной энергетики и улучшения её эффективности. Создание экономичных, надежных систем электроснабжения промышленных предприятий, систем освещения, автоматизированных систем управления технологическими процессами, внедрение микропроцессорной техники и других новшеств необходимо для выживания предприятий в условиях свободного рынка и постоянного технического прогресса.

В настоящее время важной задачей для экономики является надежное обеспечение промышленного предприятия электроэнергией надлежащего качества согласно графику потребления энергии предприятием.

Системой электроснабжения называется совокупность электротехнических установок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией.

Современные системы электроснабжения промышленных предприятий должны удовлетворять определенным требованиям:

- экономичность;
- надежность;
- безопасность;
- удобство эксплуатации;
- гибкость при дальнейшем развитии без существенного переустройства существующей схемы;
- максимальное приближение источников высокого напряжения к центрам электрических нагрузок потребителей;
- минимизация потерь электроэнергии...

Целью курсового проекта является проектирование системы электроснабжения предприятия по производству кабельной продукции с детальной проработкой цеха телефонных кабелей, сделать выводы.

# **1 Общие сведения об объекте электроснабжения**

## **1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности**

ООО «Режевской кабельный завод» (Режкабель) основан в 1991 году, и первоначально носил наименование ЗАО «Электра». Ребрендинг предприятия был произведён в 2004 году, результатом которого стало новое наименование — Режкабель — в наибольшей степени отвечающее отраслевой специфике и месторасположению производства. Производство находится в городе Реж Свердловской области.

Продукция предприятия:

- Термоэлектродные кабели и провода;
- Кабели контрольные;
- Кабели силовые;
- Провода неизолированные;
- Сигнально-блокировочные кабели;
- Кабели для систем промышленной автоматики.

Период с 2007 по 2013 гг. характеризуется для компании периодом активного роста ассортиментной политики. Это связано в первую очередь с освоением нескольких, кардинально разных по требованиям к продукту, важных территорий. В 2014 году компания осуществила внедрение высокотехнологичного оборудования и запустила несколько новых линий производства кабелей для сигнализации и блокировки, а также термоэлектродных кабелей. В период с 2015 по 2016 гг. предприятие разработало линейку универсальных монтажных кабелей для систем промышленной автоматики (КУМП). Применение кабеля КУМП в процессе подключения устройств промышленной автоматики, позволяет обеспечивать опасные производственные объекты качественной и надёжной продукцией. В 2017 году предприятие расширило существующую линейку передовых универсальных кабелей. В портфеле продуктов появилась новая марка термоэлектродных кабелей РУТЕК, характеризующаяся широтой конструктивных модификаций и уникальных типов исполнений. Кабели марки РУТЕК могут прокладываться во взрывоопасных зонах всех классов (с учётом требований ГОСТ ИЕС 60079-14-2013).

## 1.2 Технологический процесс

Процесс изготовления проводов и кабелей технологически реализуется в несколько ступеней, главные из которых: вытяжение заготовки, наложение изоляции, и намотка готового изделия в бухты. Для производства кабеля необходимо минимум два крупных цеха — цех по обработке медной заготовки и цех нанесения оболочек.

В первом цеху медная катанка вытягивается в проволоки и скручивается, в другом цехе заготовки пропускаются через экструзионные линии, где кабель приобретают завершённую изолированную форму и наматывается в бухты.

Рассмотрим подробнее технологический процесс производства кабелей и проводов на примере провода марки ПВС.

Сырьем для медных жил служит катанка, представляющая собой медные заготовки диаметром порядка 10 мм, поставляемые на завод. При помощи линии грубого волочения медная катанка подвергается холодной обработке — она под давлением проходит через волочильный инструмент (волок), канал которого сильно меньше по диаметру, чем сама катанка.

На выходе получается тонкая длинная проволока, диаметр которой многократно меньше диаметра катанки, а длина - больше. Волочильная машина выдает пасьму - тонкие проволоки.

В процессе волочения катанки, проводящие и пластические свойства меди ухудшаются, чтобы вернуть проводнику надлежащие свойства, полученную проволоку сначала необходимо нагреть в вакуумной печи до определенной температуры, затем охладить до комнатной температуры. Данная процедура называется отжигом, причем продолжительность выдержки пасьмы в вакуумной печи и температура нагрева зависят от исходных и требуемых характеристик проволоки, а также от ее диаметра. После завершения отжига, пасьма с правильными электрическими и механическими характеристиками наматывается на катушки для подачи на следующий этап обработки — для скрутки в стренгу.

Для создания гибкой многопроволочной жилы будущего провода, отдельные проволоки (пасьма) с нескольких катушек одновременно подаются в крутильную машину, где из них скручивается токопроводящая жила — стренга, служащая



основой для будущего провода. Скрутка имеет несколько видов: пучковой, шнуровой, правильной. Скрутка также может иметь разные направление - правое или левое.

В зависимости от необходимых характеристик провода выбирают тип скрутки. Объединенные скручиванием в стренгу жилы наматываются опять же на катушку.

Стренга подается в экструзионный комплекс. Катушка со стренгой устанавливается на отдающее устройство, с которого скрученная жила подается в экструдер. Жила постоянно натянута специальным натяжителем, и подогревается до 100–150°C электрическим током во время прохода по роликам. Расплавленные в шнеке гранулы ПВХ пластиката превращаются в однородную массу. Прогретый провод проходит через экструдер, где расплавленная масса ПВХ пластиката выдавливается на него, приобретая форму оболочки.

Работа экструзионной линии в технологическом процессе при производстве кабеля: после выхода из экструдера уже в изоляции, гибкий провод проходит через протяженную охлаждающую ванну с водой, в которой происходит его охлаждение до 60°C. Далее вода сдувается с провода специальным приспособлением, изоляция окончательно сушится, и изолированный провод подается на вал, прежде подвергаясь сухому испытанию изоляции напряжением.

Отдельные изолированные жилы скручиваются в многожильный провод: подкрученные жилы подаются в крутильную дисковую машину. На финальном этапе производства скрученные жилы покрываются в экструзионной линии общей изоляцией, и уже готовый провод проходит проверку на соответствие ГОСТ. После этого провод упаковывается в бухты, а затем отгружают.

### **1.3 Инженерные изыскания**

#### **1.3.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности**

Город Реж находится на восточном склоне Среднего Урала, на р. Реж, в 83 км к северо-востоку от Екатеринбурга, в 298,6 км западнее Тюмени (по Ирбитскому тракту). Географические координаты объекта 57°22'00" с. ш. 61°24'00" в. д. [2].

Реж находится в часовой зоне МСК+2. Смещение применяемого времени относительно UTC составляет +5:00 [2].

Тип местности: равнинная. Высота над уровнем Балтийского моря: 125 метров [2].

Сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64: 4 балла [3].

Почвы, которыми представлен покров территории г. Реж можно отнести к серым и дерново-подзолистым [4].

#### **1.3.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности**

Тип климата – континентальный. [2].

Среднегодовое количество осадков — 495 мм [2].

Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца +23,1 °С. Среднегодовая температура +1,2 °С. Температура воздуха наиболее холодных суток -42 °С. Абсолютная минимальная температура воздуха -47 °С. Абсолютная максимальная температура воздуха +38 °С. [5].

Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе: 84-875 МДж/м<sup>2</sup>. Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на вертикальную поверхность при безоблачном небе: 93-673 МДж/м<sup>2</sup> [5].

Преобладающее направление ветра за декабрь – февраль и июнь – август: западное. [5]. Город относится к II зоне по ветровому давлению [6].

Среднегодовая продолжительность гроз: от 40 до 60 часов [6].

Город относится ко III зоне по гололеду, характеризующейся нормативной толщиной стенки гололеда 20 мм [6].

### **1.3.3 Инженерные изыскания по гидрологическим условиям местности**

Угрозу проектируемому объекту могут представлять разливы рек в паводковый период. Необходимо предусмотреть вынос объектов электроснабжения из опасных зон. Отдельное внимание уделить установке оборудования на неподтопляемых территориях и планированию трасс линий.

При невозможности выноса оборудования следует рассмотреть вопрос о применении высоких фундаментов, гидрозащиты сооружений, а также альтернативных вариантах электроснабжения.

### **1.4 Особенности электроснабжения предприятия**

Проектируемый объект относится к II категории по надежности электроснабжения.

Питание объекта будет осуществляться от одной из действующих подстанций либо напрямую от электростанции, в зависимости от установленной мощности предприятия и напряжения питающих линий, значение которых будет определено дальнейшими расчетами.

В соответствии с категорией объекта, питание будет осуществляться по двухцепной линии электропередачи. Распределение электроэнергии по территории предприятия будет осуществляться кабельными линиями с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвБП.

### **1.5 Исходные данные**

Исходными данными к проектированию являются:

1. Генеральный план предприятия (рисунок 1.1);
2. Сведения об электрических нагрузках, характеристика среды производственных помещений, характеристика потребителей электроэнергии (таблица 1.1);
3. План рассматриваемого цеха (рисунок 1.2.);
4. Сведения об электрических нагрузках цеха (таблица 1.2.);
5. Длина питающей линии (таблица 1.1).

Генплан позволяет определить размеры цехов и длины будущих кабельных линий, а также место их прокладки и место расположения трансформаторных подстанций.

План цеха аналогично позволяет определить оптимальное расположение пунктов питания электроприемников и трасс распределительной и питающей сети.

Сведения об электрических нагрузках дают возможность определить расчетные мощности цехов, выбрать сечения линий и оборудование.

Таблица 1.1 – Ведомость электрических нагрузок предприятия

Потребитель	Категория	Напряжение, кВ	Среда	Установленная мощность, кВт
1 Волоочильный цех	II	0,38	нормальная	1400
2 Склад каучука	III	0,38	нормальная	55
3 Цех телефонных кабелей	II	0,38	нормальная	-
4 Резиносмесительный цех	II	0,38 (СД) 10,0	нормальная	1450 1600
5 Цех силовых и контрольных кабелей	II	0,38	нормальная	3100
6 Цех по производству шахтных, экскаваторных кабелей	II	0,38	нормальная	3100
7 Тарный цех	III	0,38	нормальная	210
8 Транспортно-складской цех	III	0,38	нормальная	350
9 Ремонтно-строительный цех	III	0,38	нормальная	40
10 Штамповочный	II	0,38	нормальная	1400
11 Электроцех	III	0,38	нормальная	400
12 Котельная	III	0,38	жаркая	3100
13 Заводоуправление	III	0,38	нормальная	120
14 Гараж	III	0,38	нормальная	520
15 Склад	III	0,38	нормальная	120
16 Склад саж	III	0,38	нормальная	70
17 Механический	II	0,38	нормальная	280
18 Кузнечный	II	0,38	жаркая	220
19 Столовая	III	0,38	нормальная	170
20 Лаборатория	III	0,38	нормальная	160
Источник питания L = 21 км	—	—	—	—

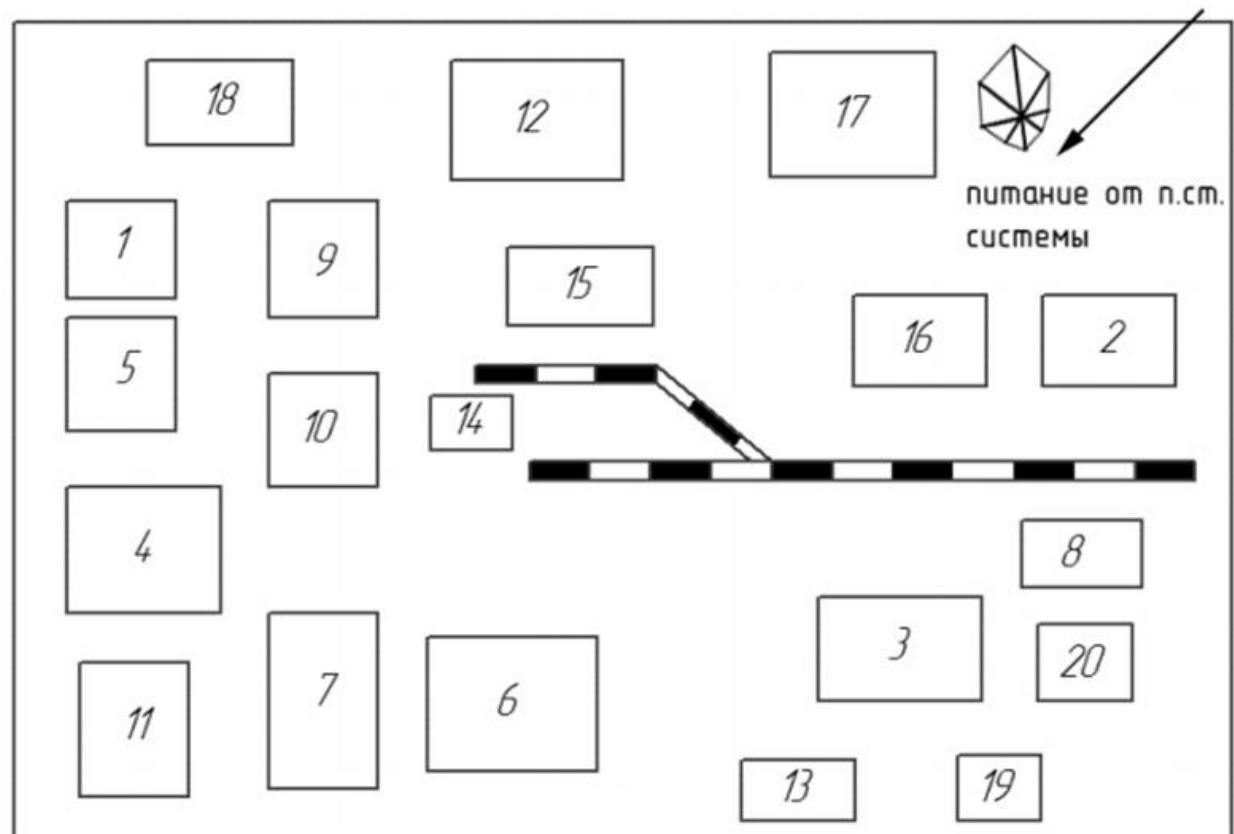


Рисунок 1.1 – Генплан предприятия

Таблица 1.2 – Сведения об электрических нагрузках цеха телефонных кабелей

Наименование		$P_{\text{ном}},$ кВт	$k_{\text{исп}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
1		2	3	4	5
1	Вентилятор	19,0	0,75	0,85	0,62
2	Вентилятор	19,0	0,75	0,85	0,62
3	Вентилятор	19,0	0,75	0,85	0,62
4	Вентилятор	19,0	0,75	0,85	0,62
5	Вентилятор	19,0	0,75	0,85	0,62
6	Вентилятор	19,0	0,75	0,85	0,62
7	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
8	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
9	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
10	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
11	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
12	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
13	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
14	Кран-балка ПВ = 25%	9,0	0,06	0,5	1,73
15	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
16	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
17	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
18	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
19	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
20	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
21	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
22	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
23	Кабельные барабаны моторные	39,0	0,7	0,8	0,75
24	Испытательная станция	24,0	0,4	0,87	0,57
25	Испытательная станция	24,0	0,4	0,87	0,57
26	Пресс	21,0	0,17	0,65	1,17
27	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
28	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
29	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
30	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
31	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
32	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
33	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
34	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
35	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
36	Вентилятор	15,0	0,75	0,85	0,62
37	Компрессор	20,0	0,10	0,50	1,73
38	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73
39	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73

40	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73
41	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73
42	Пресс	15	0,17	0,65	1,17
43	Линия скрутки	5,5	0,16	0,50	1,73
44	Линия грубого волочения	48	0,24	0,65	1,17
45	Линия грубого волочения	48	0,24	0,65	1,17
46	Кромкообрезной станок	19,0	0,13	0,50	1,73
47	Кромкообрезной станок	19,0	0,13	0,50	1,73
48	Насос	8,5	0,7	0,85	0,62
49	Насос	8,5	0,7	0,85	0,62
50	Насос	8,5	0,7	0,85	0,62
51	Насос	8,5	0,7	0,85	0,62
52	Насос	8,5	0,7	0,85	0,62
53	Линия скрутки	6,5	0,16	0,70	1,02
54	Перемоточный станок	17,0	0,16	0,50	1,73
55	Перемоточный станок	17,0	0,16	0,50	1,73
56	Перемоточный станок	17,0	0,16	0,50	1,73
57	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73
58	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73
59	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73
60	Кромкообрезной станок	19,0	0,16	0,50	1,73
61	Шланговая линия	9,0	0,16	0,50	1,73
62	Шланговая линия	9,0	0,16	0,50	1,73
63	Горизонтально-изолировочная машина	48,0	0,16	0,50	1,73
64	Горизонтально-изолировочная машина	48,0	0,16	0,50	1,73
65	Станок фрезерный	19,0	0,13	0,50	1,73
66	Станок фрезерный	19,0	0,13	0,50	1,73
67	Станок фрезерный	19,0	0,13	0,50	1,73
68	Станок строгальный	21,0	0,13	0,50	1,73
69	Станок строгальный	21,0	0,13	0,50	1,73
70	Станок строгальный	21,0	0,13	0,50	1,73
71	Машина грубого волочения	144,0	0,24	0,65	1,17
72	Линия бронирования	48,0	0,16	0,50	1,73
73	Линия изолирования	42,0	0,16	0,50	1,73
74	Машина волочения стальной проволоки	145,0	0,24	0,65	1,17

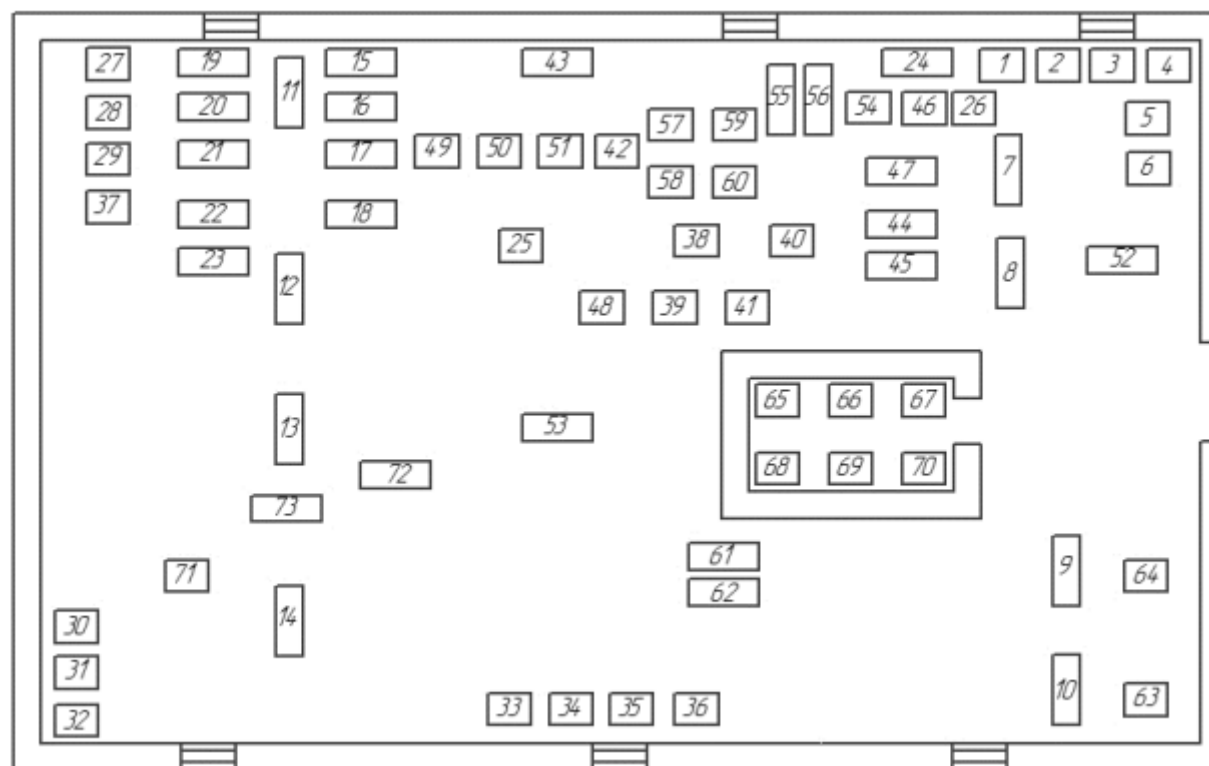


Рисунок 1.2 – План цеха телефонных кабелей



## 2 Электроснабжение объектов на территории предприятия

### 2.1 Определение расчетной нагрузки цеха

Для определения расчетной нагрузки цеха воспользуемся методом упорядоченных диаграмм.

По данному методу расчетная нагрузка определяется по коэффициенту максимума и эффективному числу электроприемников. Для этого все электроприемники цеха разбиваются на две группы с одинаковыми режимами работы:

- группа «А», в которую включаются электроприемники с переменным графиком нагрузки ( $K_{\text{и}} < 0,6$ );
- группа «Б», в которую электроприемники с практически постоянным графиком нагрузки ( $K_{\text{и}} \geq 0,6$ ;  $K_{\text{з}} \geq 0,9$ ;  $K_{\text{в}} = 1$ ).

Паспортные мощности электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы (ПКР) приводятся к ПВ = 100%, то есть к номинальной установленной мощности.

Кран-балка ПВ = 25%

$$P_{\text{ном}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 9,0 \cdot \sqrt{0,25} = 4,5 \text{ кВт.}$$

Для каждой группы определяется суммарная номинальная мощность электроприемников (на примере группы «А»)

$$P_{\text{ном.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} = 577,0 + 36,0 + 385,0 + 72,0 + 48,0 + 20,0 = 1138,0 \text{ кВт.}$$

Коэффициент использования  $K_{\text{и}}$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\text{tg}\varphi$  для каждого ЭП или группы электроприемников определяется по справочным данным [9, стр. 19, табл. 1.7].

Средняя активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном.}\Sigma} = 0,16 \cdot 577,0 = 92,32 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 92,32 \cdot 1,17 = 108,01 \text{ кВАр,}$$

где  $P_{\text{ном}}$  – суммарная номинальная активная мощность электроприемников;

$K_{\text{и}}$  – коэффициент использования активной мощности;

$\text{tg}\varphi$  – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности.

Для обеих группы электроприемников рассчитывается суммарная среднесменной активная и реактивная нагрузка в группе:

$$P_{\text{CM}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{CM},i} = 92,32 + 6,12 + 92,4 + 2,16 + 19,2 + 2,0 = 214,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{CM},i} = 108,01 + 7,16 + 108,11 + 3,74 + 10,94 + 3,46 = 241,42 \text{ кВАр}.$$

Диапазон величины модуля силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.max}}}{P_{\text{НОМ.min}}} = \frac{145,0}{9,0} = 16,1 > 3.$$

Средневзвешенный коэффициент использования по группе

$$K_{\text{u.ср}} = \frac{P_{\text{CM}}^{\text{A}}}{P_{\text{НОМ.}\Sigma}} = \frac{214,2}{1102,0} = 0,19.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{CM}}^{\text{A}}}{P_{\text{CM}}^{\text{A}}} = \frac{241,42}{214,2} = 1,13.$$

Для электроприемников группы «А» определим эффективное число электроприемников  $n_э$ ,

$$n_э = \frac{[P_{\text{НОМ.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{НОМ}}^2} = \frac{1102,0^2}{82347,75} = 14,7 \text{ шт},$$

принимаем  $n_э = 14$  шт.

Коэффициент максимума активной мощности [9, стр. 21, табл. 1.8]

$$K_{\text{M}} = 1,71.$$

Коэффициент максимума реактивной мощности

$$K'_{\text{M}} = 1,0.$$

Расчетная активная и реактивная мощности для группы "А"

$$P_{\text{p}}^{\text{A}} = K_{\text{M}} \cdot P_{\text{CM}}^{\text{A}} = 1,71 \cdot 214,2 = 366,28 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{p}}^{\text{A}} = K'_{\text{M}} \cdot Q_{\text{CM}}^{\text{A}} = 1,0 \cdot 241,42 = 241,42 \text{ кВАр}.$$

Для электроприемников группы «Б» с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная и реактивная мощность принимается равной средней за наиболее загруженную смену

$$P_{\text{p}}^{\text{Б}} = P_{\text{CM}}^{\text{Б}} = 473,45 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{p}}^{\text{Б}} = Q_{\text{CM}}^{\text{Б}} = 325,49 \text{ кВАр}.$$

Расчетная активная и реактивная мощности электроприемников по цеху

$$P_p = P_p^{''A''} + P_p^{''B''} = 366,29 + 473,45 = 839,74 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_p^{''A''} + Q_p^{''B''} = 241,42 + 325,49 = 566,91 \text{ кВАр}.$$

Для освещения цеха применяется светодиодное освещение.

Определяем номинальную нагрузку осветительных приемников цеха по площади цеха и удельной установленной мощности осветительной нагрузки:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,006 \cdot 8640 = 51,84 \text{ кВт},$$

где  $F_{ц}$  – площадь цеха,  $m^2$ ;

$P_{уд.о}$  – удельная установленная мощность осветительной нагрузки [8, табл. 7.2], кВт/ $m^2$ .

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{н.о} = 0,95 \cdot 51,84 = 49,25 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o = 49,25 \cdot 0,48 = 23,64 \text{ кВАр},$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки [9, стр. 22, табл. 1.10];

$\operatorname{tg} \varphi_o$  – для светодиодных ламп.

Определен расчётной нагрузки цеха с учетом освещения

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ &= \sqrt{(839,74 + 49,25)^2 + (566,91 + 231,64)^2} = 1067,3 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Определение расчётного тока цеха

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1067,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1621,53 \text{ А},$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение электроприемников, В.

Расчёт пикового тока цеха:

Определяем номинальный ток самого мощного электроприемника цеха

$$I_{ном}^{max} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{145,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,98} = 345,9 \text{ А};$$

Пусковой ток самого мощного электроприемника цеха

$$I_{пуск}^{max} = K_{пуск} \cdot I_{ном}^{max} = 3 \cdot 345,85 = 1037,7 \text{ А}.$$

Пиковый ток цеха

$$I_{пик.ц} = I_{пуск}^{max} + (I_p - K_{у.мах} \cdot I_{ном}^{max}) = 1037,7 + (1621,3 - 0,24 \cdot 345,9) = 2576,0 \text{ А}.$$

Расчет электрических нагрузок цеха сведён в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Определение расчетных нагрузок цеха

Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП, n	Установленная мощность		$m = P_{\text{ном. max}} / P_{\text{ном. min}}$	Коэффициент использования $K_{\text{II}}$	$\cos$	$\text{tg}$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников $n_3$	Коэффициент максимума $K_{\text{M}}$	Расчетная нагрузка			$I_{\text{p}}, \text{A}$	$I_{\text{пнк}}, \text{A}$
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$\Sigma P_{\text{ном}}, \text{кВт}$					$P_{\text{см}} = K_{\text{II}} \cdot P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi, \text{кВар}$			$P_{\text{p}} = K_{\text{M}} \cdot P_{\text{см}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{p}} = (1 \div 1,1) \cdot Q_{\text{см}}, \text{кВар}$	$S_{\text{p}} = \sqrt{(P_{\text{p}}^2 + Q_{\text{p}}^2)}, \text{кВА}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Электроприемники группы "А" $K_{\text{II}} < 0,6$																
1 Станки, машины, линии разные	27	9,0 ÷ 48,0	577,0		0,16	0,65	1,17	92,32	108,01							
2 Прессы	2	15,0 ÷ 21,0	36,0		0,17	0,65	1,17	6,12	7,16							
3 Машины волочения	4	48,0 ÷ 145,0	385,0		0,24	0,65	1,17	92,4	108,11							
4 Краны-балки	8	4,5 ÷ 4,5	36,0		0,06	0,50	1,73	2,16	3,74							
5 Испытательные станции	2	24,0 ÷ 24,0	48,0		0,40	0,87	0,57	19,2	10,94							
6 Компрессор	1	20,0	20,0		0,10	0,50	1,73	2,0	3,46							
Итого по группе "А"	44	9,0 ÷ 145,0	1102,0	>3	0,19	0,66	1,13	214,2	241,42	14	1,71	366,29	241,42			
Электроприемники группы "Б" $K_{\text{II}} \geq 0,6$																
7 Насосы	5	8,5 ÷ 8,5	42,5		0,70	0,85	0,62	29,75	18,45							
8 Вентиляторы	16	15,0 ÷ 19,0	264,0		0,75	0,85	0,62	198,0	122,76							
9 Кабельные барабаны моторные	9	39,0 ÷ 39,0	351,0		0,70	0,8	0,75	245,7	184,28							
Итого по группе "Б"	30	8,5 ÷ 39,0	657,5		0,72	0,82	0,69	473,45	325,49		1	473,45	325,49			
Итого силовая нагрузка	74	8,5 ÷ 145,0	1759,5		0,39	0,77	0,82	687,65	566,91			839,74	566,91	1013,19		
Электрическое освещение			51,84	$K_{\text{co}} =$	0,95	0,90	0,48	49,25	23,64			49,25	23,64			
Итого по цеху	74	8,5 ÷ 145,0	1811,34		0,41	0,78	0,80	736,9	590,55			888,99	590,55	1067,26	1621,53	2576,0

## 2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия

При расчёте расчётной полной мощности предприятия необходимо учитывать осветительные нагрузки, потери мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ, 220-35/10 кВ и линиях электропередач.

На начальном этапе разработки проекта, для определения приближенных нагрузок предприятия, мощности источника питания, выбора силового электротехнического оборудования допускается использовать метод «Коэффициента спроса» ( $K_c$ ). Если заказчик не предоставил актуальных данных объекта  $K_c$  допустимо определять по справочной литературе. Коэффициента спроса является характеристикой группы электроприемников или потребителя с равномерной нагрузкой, то есть в группе настолько много электроприемников, что максимумы нагрузок не носят выраженного характера.

Расчетная нагрузка силовых приемников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст}; \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $P_p$ ,  $Q_p$  – расчётные активные и реактивные мощности приемников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса [9, стр. 13, табл. 1.6];

$\operatorname{tg} \varphi$  – принимается по значению коэффициента мощности.

Расчёты осветительной нагрузки цехов аналогичны расчёту осветительной нагрузки цеха телефонных кабелей, рассчитанного ранее.

Расчётная активная мощность групп приемников, напряжение которых выше 1000 В, определяется по вышеприведенным формулам отдельно и выносятся в отдельный раздел таблицы.

Для систематизации рассчитанных нагрузок используется таблица 2.2.

Пример расчета (Волоочильный цех)

$$P_{уст} = 1400,0 \text{ кВт}, \quad K_c = 0,50, \quad \cos \varphi = 0,75, \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,88.$$

Расчетные активная и реактивная мощности корпуса

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,50 \cdot 1400,0 = 700,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 700,0 \cdot 0,88 = 616,0 \text{ кВАр},$$

Номинальная нагрузка освещения цеха

$$P_{н.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,005 \cdot 7020 = 35,1 \text{ кВт}.$$

Таблица 2.2 – Определение расчетных нагрузок по цехам предприятия

Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка						Суммарная нагрузка		
	Р <sub>уст</sub> , кВт	К <sub>с</sub>	cos	tg	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	F, м <sup>2</sup>	Р <sub>уд о</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	Р <sub>но</sub> , кВт	К <sub>со</sub>	Р <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>ро</sub> , кВАр	Р <sub>р</sub> +Р <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> +Q <sub>ро</sub> , кВт	С <sub>р</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Потребители электроэнергии до 1000 В															
1 Волоочильный цех	1400,0	0,50	0,75	0,88	700,0	616,0	7020	5	35,1	0,95	33,3	16,0	733,3	632,0	968,1
2 Склад каучука	55,0	0,30	0,65	1,17	16,5	19,3	8424	5	42,1	0,60	25,3	12,1	41,8	31,4	52,3
3 Цех телефонных кабелей	1759,5	-	0,77	0,82	839,74	566,91	9720	5	51,84	0,95	49,3	23,6	888,99	590,55	1067,3
4 Резиносмесительный цех	1450,0	0,50	0,75	0,88	725,0	638,0	11880	6	71,3	0,95	67,7	32,5	792,7	670,5	1038,3
5 Цех силовых и контрольных кабелей	3100,0	0,50	0,75	0,88	1550,0	1364,0	8100	5	40,5	0,95	38,5	18,5	1588,5	1382,5	2105,8
6 Цех по производству шахтных, экскаваторных кабелей	3100,0	0,50	0,75	0,88	1550,0	1364,0	17280	7	121,0	0,95	114,9	55,2	1664,9	1419,2	2187,7
7 Тарный цех	210,0	0,30	0,70	0,88	63,0	55,4	13500	5	67,5	0,95	64,1	30,8	127,1	86,2	153,6
8 Транспортно-складской цех	350,0	0,30	0,70	1,02	105,0	107,1	3480	9	31,3	0,80	25,1	12,0	130,1	119,1	176,4
9 Ремонтно-строительный цех	40,0	0,50	0,70	1,02	20,0	20,4	8100	5	40,5	0,95	38,4	18,5	58,5	38,9	70,2
10 Штамповочный цех	1400,0	0,50	0,75	0,88	700,0	616,0	8100	5	40,5	0,95	38,5	18,5	738,5	634,5	973,6
11 Электроцех	400,0	0,30	0,70	1,02	120,0	122,4	10800	9	97,2	0,80	77,8	37,3	197,8	159,7	254,2
12 Котельная	3100,0	0,60	0,80	0,75	1860,0	1395,0	13500	6	81,0	0,95	77,0	36,9	1937,0	1431,9	2408,8
13 Заводоуправление	120,0	0,50	0,80	0,75	60,0	45,0	4608	9	41,5	0,90	37,3	17,9	97,3	62,9	115,9
14 Гараж	520,0	0,30	0,70	1,02	156,0	159,1	3024	5	15,1	0,60	9,1	4,4	165,1	163,5	232,3
15 Склад	120,0	0,30	0,70	1,02	36,0	36,7	7200	6	43,2	0,60	25,9	12,4	61,9	49,1	79,0
16 Склад саж	70,0	0,30	0,65	1,17	21,0	24,6	8640	5	43,2	0,60	25,9	12,4	46,9	37,0	59,8
17 Механический цех	280,0	0,30	0,60	1,33	84,0	111,7	14688	6	88,1	0,95	83,7	40,2	167,7	151,9	226,3
18 Кузнечный цех	220,0	0,50	0,75	0,88	110,0	96,8	7200	5	36,0	0,95	34,2	16,4	144,2	113,2	183,3
19 Столовая	170,0	0,40	0,90	0,48	68,0	32,6	3456	9	31,1	0,90	28,0	13,4	96,0	46,0	106,4
20 Лаборатория	160,0	0,50	0,80	0,75	80,0	60	4320	9	38,9	1,00	38,9	18,7	118,9	78,7	142,6

Территория завода	0	–	–	–	0	0	663336	0,16	106,1	1,00	106,1	50,9	106,1	50,9	117,7
Итого по 0,38 кВ	16624,5	–	–	–	8864,24	7451,01	$\Sigma F_{\Pi}=173040$		1159,8	–	1039,0	498,6	9903,3	7949,7	12699,3
Потребители электроэнергии выше 1000 В															
4 Резиносмесительный цех	1600,0	0,50	0,90	0,48	800,0	704,0	–	–	–	–	–	–	800,0	704,0	1065,7
Итого по 10 кВ	1600,0	–	–	–	800,0	704,0	–	–	–	–	–	–	800,0	704,0	1065,7



Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{н.о} = 0,95 \cdot 35,1 = 33,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o = 33,3 \cdot 0,48 = 16,0 \text{ кВар}.$$

Полная расчётная мощность цеха

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ &= \sqrt{(700,0 + 33,3)^2 + (616,0 + 16,0)^2} = 968,1 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Полная мощность нагрузки предприятия на шинах напряжением до 1000 В за максимально загруженную смену

$$\begin{aligned} S_p^H &= \sqrt{\left(\sum P_p^H + \sum P_{p.o}\right)^2 + \left(\sum Q_p^H + \sum Q_{p.o}\right)^2} = \\ &= \sqrt{(8864,2 + 1039,0)^2 + (7451,0 + 498,6)^2} = 12699,3 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Приближённые потери мощности в цеховых трансформаторах и питающих линиях [10, стр. 32]

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 12699,3 = 254,0 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 12699,3 = 1269,9 \text{ кВар};$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 12699,3 = 381,0 \text{ кВт};$$

$\Delta P_T$  – потери активной мощности в цеховых трансформаторах, кВт;

$\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах, кВар;

$\Delta P_L$  – потери активной мощности в линиях, кВт.

Суммарные расчетные мощности, учитывающие потери в цеховых трансформаторах и питающих линиях

$$\begin{aligned}
 P_{p\Sigma} &= \left( \sum P_p^H + \sum P_p^B \right) \cdot K_{p.m} + P_{p.o} + \Delta P_T + \Delta P_L = \\
 &= (8864,2 + 800,0) \cdot 0,95 + 1039,0 + 254,0 + 381,0 = 10854,8 \text{ кВт}, \\
 Q_{p\Sigma} &= \left( \sum Q_p^H + \sum Q_p^B \right) \cdot K_{p.m} + Q_{p.o} + \Delta Q_T = \\
 &= (7451,0 + 704,0) \cdot 0,95 + 498,6 + 1269,9 = 9515,8 \text{ кВар}, \\
 S_{p\Sigma} &= \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{10854,8^2 + 9515,8^2} = 14435,2 \text{ кВА}.
 \end{aligned}$$

где  $K_{p.m} = 0,9 \div 0,95$  – коэффициент разновременности максимумов нагрузки [10, стр. 35].

Приблизительные потери мощности в трансформаторах ГПП

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{T.ГПП} &= 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 14435,2 = 288,7 \text{ кВт}, \\
 \Delta Q_{T.ГПП} &= 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 14435,2 = 1443,5 \text{ кВар},
 \end{aligned}$$

где  $\Delta P_{T.ГПП}$  – потери активной мощности в трансформаторах ГПП, кВт;

$\Delta Q_{T.ГПП}$  – потери реактивной мощности в трансформаторах ГПП, кВар.

Полная расчетная мощность предприятия со стороны ВН трансформаторов ГПП

$$\begin{aligned}
 S_p &= \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{T.ГПП})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{T.ГПП})^2} = \\
 &= \sqrt{(10854,8 + 288,7)^2 + (9515,8 + 1443,5)^2} = \\
 &= \sqrt{(11143,5)^2 + (10959,3)^2} = 15629,6 \text{ кВА}.
 \end{aligned}$$

При выполнении расчёта нагрузки предприятия не была учтена компенсация реактивной мощности. Необходимо определить с уровень напряжения питающих линий для учёта компенсации реактивной мощности.

Воспользуемся формулой Илларионова для определения экономически целесообразной величины напряжения питающей линии:

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{21,0} + \frac{2500}{10,85}}} = 62,5 \text{ кВ},$$

где  $L$  – длина питающей линии, км;

$U_{\text{эк}}$  – экономическое напряжение рассматриваемого участка, кВ.

Поскольку мощность предприятия больше 10 МВА, согласно рекомендациям принимаем напряжение  $U_{\text{ном}} = 110$  кВ [11, стр. 46].

Реактивная мощность, передаваемая в сеть предприятия от системы

$$Q_c = \alpha \cdot P_p = 0,29 \cdot 10854,8 = 3147,9 \text{ кВАр},$$

где  $\alpha$  – расчетный коэффициент, соответствующий средним условиям передачи реактивной мощности по сетям системы [10, стр. 35].

Приблизительное значение мощности КУ.

$$Q_{\text{ку}} = Q_p - Q_c = 9515,8 - 3147,9 = 6367,9 \text{ кВАр}.$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП с учетом компенсации реактивной мощности

$$\begin{aligned} S_{\text{р.ГПП}} &= \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{ку}})^2} = \sqrt{10854,8^2 + (9515,8 - 6367,9)^2} = \\ &= \sqrt{10854,8^2 + 3147,9^2} = 11302,0 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Таким образом, в данном подразделе была определены полная расчетная мощность главной понизительной подстанции и уровень напряжения линии, питающей ГПП.

### 2.3 Картограмма электрических нагрузок

Картограммой нагрузок являются площади, размещенные на плане предприятия, ограниченные окружностями и соответствует расчетным нагрузкам цехов в масштабе. Силовые нагрузки изображаются отдельными кругами. Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В.

Картограмма визуально показывает структурц силовых нагрузок на заводе. На основе построенной картограммы электрических нагрузок определяется центр электрических нагрузок (ЦЭН), являющийся оптимальным метом для размещения источника питания. Источник питания (ГПП) может быть перемещён в сторону питающей линии из-за наличие дорог, зданий и естественных препятствий.

Для определения ЦЭН энергосистемы на план местности наносятся оси координат. Начало системы координат выбирается произвольно. Координаты

каждого объекта  $x_i$  и  $y_i$  определяется в миллиметрах относительно начала координат для точки, в которой установлен источник питания объекта или его локальном центре нагрузок (при отсутствии данных допускается определять координаты геометрического центра объекта).

Пример расчета (Волоочильный цех)

$$S_p = 968,1 \text{ кВА}, \quad S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{33,3^2 + 16,0^2} = 36,9 \text{ кВА},$$

$$x = 13,5 \text{ мм}, \quad y = 78,0 \text{ мм},$$

Радиус окружности силовой нагрузки корпуса

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{968,1}{\pi \cdot 2,5}} = 11,1 \text{ мм},$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность цеха, кВА;

$m$  – масштаб для определения площади круга нагрузки, кВА/мм<sup>2</sup>.

Угол сектора нагрузки освещения корпуса

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot S_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 36,9}{968,1} = 13,7 \text{ град.}$$

Тогда

$$S_p \cdot x = 968,1 \cdot 13,5 = 13069,4 \text{ кВА} \cdot \text{мм},$$

$$S_p \cdot y = 968,1 \cdot 78,0 = 75511,8 \text{ кВА} \cdot \text{мм}.$$

Для построения зоны рассеяния ЦЭН

$$S_x = S_y = \frac{S_p}{\sum_{i=1}^n S_{p.i}} = \frac{968,1}{13667,6} = 0,071,$$

$$\sigma_x^2 = S_x \cdot (x - x_0)^2 = 0,071 \cdot (13,5 - 51,8)^2 = 107,511,$$

$$\sigma_y^2 = S_y \cdot (y - y_0)^2 = 0,071 \cdot (78,0 - 55,2)^2 = 37,892.$$

Занесём в таблицу 2.3 результаты расчетов.

Координаты центра электрических нагрузок предприятия

$$x_0 = \frac{\sum (S_{p.i} \cdot x_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{685407,9}{13667,6} = 51,8 \text{ мм};$$

$$y_0 = \frac{\sum (S_{p.i} \cdot y_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{730687,2}{13667,6} = 55,2 \text{ мм}.$$

Построение зоны рассеяния ЦЭН.

Параметры нормального закона распределения

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n S_{xi} \cdot (x_i - x_0)^2 = 1222,5; \quad \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n S_{yi} \cdot (y_i - y_0)^2 = 936,2;$$

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{\sigma_x^2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1222,5} \cdot \sqrt{2}} = 0,0202,$$

$$h_y = \frac{1}{\sqrt{\sigma_y^2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{936,2} \cdot \sqrt{2}} = 0,0231,$$

Полуоси эллипса рассеяния

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0202} = 85,6 \text{ мм}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0231} = 74,9 \text{ мм}.$$

Картограмма нагрузок приведена на рисунке 2.2.

Центр нагрузок расположен слишком близко к цехам, расположение ГПП должно быть смещено в северо-восточном направлении, в сторону питающей линии.

Таблица 2.3 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

Наименование цеха	$S_{pi}$ , кВА	$S_{p.o.i}$ , кВА	$r$ , мм	$\alpha$ , град	$x_i$ , мм	$y_i$ , мм	$S_{pi} \cdot x_i$ , кВАмм	$S_{pi} \cdot y_i$ , кВАмм	$\frac{S_{pi}}{\sum_{i=1}^n S_{pi}}$	$\sigma_x^2$	$\sigma_y^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Потребители электроэнергии до 1000 В											
1 Волоочильный цех	968,1	36,9	11,1	13,7	13,5	78,0	13069,4	75511,8	0,073	87,029	40,784
2 Склад каучука	52,3	28,0	2,6	192,7	141,0	66,0	7374,3	3451,8	0,004	34,216	0,533
3 Цех телефонных кабелей	1067,3	54,7	11,6	18,5	115	25,5	122739,5	27216,2	0,081	322,085	71,414
4 Резиносмесительный цех	1038,3	75,1	11,5	26,0	16,0	37,5	16612,8	38936,3	0,079	80,296	22,411
5 Цех силовых и контрольных кабелей	2105,8	42,7	16,4	7,3	14,0	60,5	29481,2	127400,9	0,159	183,855	5,933
6 Цех по производству шахтных, экскаваторных кабелей	2187,7	127,5	16,7	21,0	64,0	17,0	140012,8	37190,9	0,165	42,446	231,322
7 Тарный цех	153,6	71,1	4,4	166,6	40,5	18,5	6220,8	2841,6	0,012	0,650	14,964
8 Транспортно-складской цех	176,4	27,8	4,7	56,7	138,0	37,5	24343,2	6615,0	0,013	108,081	3,807
9 Ремонтно-строительный цех	70,2	42,6	3,0	218,5	40,5	75,5	2843,1	5300,1	0,005	0,297	2,364
10 Штамповочный цех	973,6	42,7	11,1	15,8	40,5	52,5	39430,8	51114,0	0,074	4,120	0,265
11 Электроцех	254,2	86,3	5,7	122,2	16,5	14,0	4194,3	3558,8	0,019	19,048	31,364
12 Котельная	2408,8	85,4	17,5	12,8	67,0	102,0	161389,6	245697,6	0,182	65,881	412,741
13 Заводоуправление	115,9	41,4	3,8	128,6	101,5	6,5	11763,9	753,4	0,009	25,101	20,103
14 Гараж	232,3	10,1	5,4	15,7	58,5	54,3	13589,6	12613,9	0,018	1,943	0,000
15 Склад	79,0	28,7	3,2	130,8	73,0	72,0	5767,0	5688,0	0,006	3,739	1,851
16 Склад сажп	59,8	28,7	2,8	172,8	117,0	65,0	6996,6	3887,0	0,005	21,539	0,508
17 Механический цех	226,3	92,9	5,4	147,8	108,0	94,8	24440,4	21453,2	0,017	61,638	27,933
18 Кузнечный цех	183,3	37,9	4,8	74,4	27,0	95,3	4949,1	17468,5	0,014	6,101	23,189
19 Столовая	106,4	31,0	3,7	104,9	126,5	7,0	13459,6	744,8	0,008	49,599	18,072
20 Лаборатория	142,6	43,2	4,3	109,1	138,0	23,0	19678,8	3279,8	0,011	87,372	10,628

Потребители электроэнергии выше 1000 В											
4 Резиносмесительный цех	1065,7	—	11,7	—	16,0	37,5	17051,2	39963,8	—	—	—
Итого	13667,6	—	—	—	—	—	685407,9	730687,2	—	1222,5	936,2

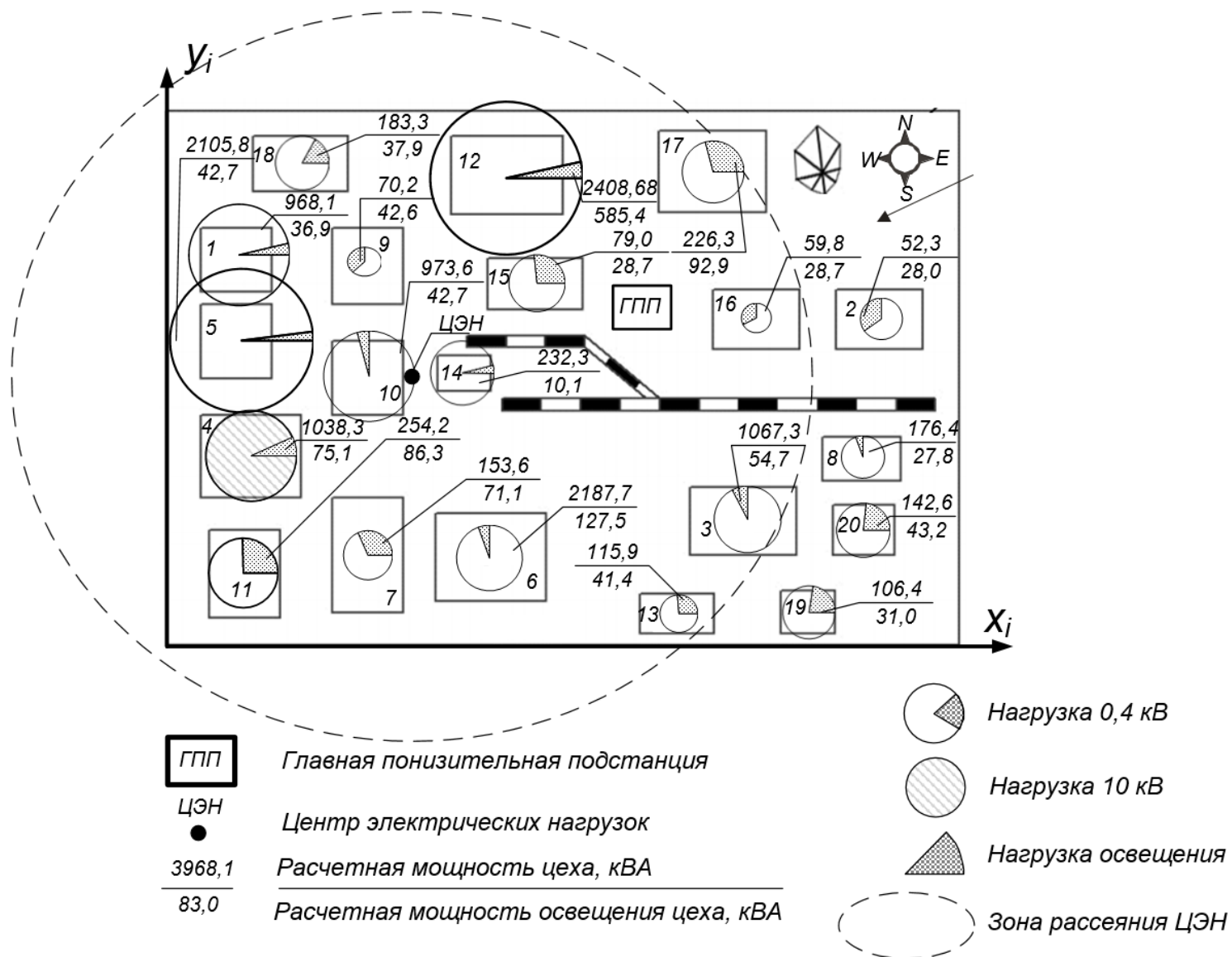


Рисунок 2.2 – Картограмма нагрузок



## 2.4 Распределение источников питания по территории предприятия

Трансформаторные подстанции 10 кВ должны быть установлены в центрах своих электрических нагрузок.

Номинальная мощность цеховых трансформаторов определяется плотностью нагрузки и выбирается одинаковой для всей группы, если имеется данная возможность.

Выбор числа трансформаторов на цеховой подстанции зависит от требуемой степени надежности электроснабжения.

Нагрузки цехов объединяются таким образом, чтобы загрузка трансформаторных подстанций была оптимальной.

Для более оптимального распределения трансформаторов по территории предприятия принимаем трансформаторы с разными номиналами мощности. В таблице 2.4 занесены параметры цеховых трансформаторов..

Таблица 2.4 – Данные по трансформаторам [9, стр. 157, табл. 7.3]

Тип	$S_{ном},$ МВА	$U_{вн},$ кВ	$U_{нн},$ кВ	$P_{хх},$ кВт	$P_{кз},$ кВт	$U_k,$ %	$I_{хх},$ %
ТМ-1000/10	1,00	10,0	0,4	2,45	12,2	5,5	1,4
ТМ-1600/10	1,60	10,0	0,4	3,30	18,0	5,5	1,3
ТМ-2500/10	2,50	10,0	0,4	4,60	25,0	5,5	1,0

По результатам расчётов и группирования нагрузок осуществляем расстановку ЦТП, производим проверку загрузки трансформаторов по активной и полной мощности.

Пример расчета коэффициента загрузки по активной мощности для ТП5

$$\beta_T = \frac{P_{р.ТП1}}{N_{т.ТП1} \cdot S_{ном.т}} = \frac{1977,1}{2 \cdot 1600} = 0,618 \text{ шт},$$

коэффициент загрузки соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Пример расчета коэффициента загрузки по полной мощности для ТП5

$$\beta_T = \frac{S_{р.ТП1}}{N_{т.ТП1} \cdot S_{ном.т}} = \frac{2522,6}{2 \cdot 1600} = 0,798 \text{ шт},$$

коэффициент загрузки не соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Результаты группирования нагрузок и расчета коэффициентов загрузки трансформаторов сведены в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

№ ТП	N <sub>т</sub> , шт	S <sub>ном.т</sub> , кВА	Потребители энергии (номер по генплану)	Место расположения на генплане	P <sub>р.тп</sub> , кВт	Загрузка тр-ров по активной мощности	S <sub>р.тп</sub> , кВА	Загрузка тр-ров по полной мощности	Q <sub>р.тп</sub> , кВАр
ТП1	2	1000	1, 18	Цех №1	877,7	0,439	1151,4	0,576	745,2
ТП2	2	1600	5	Цех №5	1588,5	0,496	2105,8	0,658	1382,5
ТП3	2	1000	9, 10, 14, 15	Цех №10	1024,0	0,512	1355,1	0,678	886,0
ТП4	2	1000	4, 11	Цех №4	990,5	0,495	1292,4	0,646	830,2
ТП5	2	2500	6, 7, 13, 19, 20	Цех №6	2104,2	0,421	2700,7	0,540	1693,0
ТП6	2	2500	2, 12, 16, 17	Цех №12	2193,4	0,439	2747,2	0,549	1652,2
ТП7	2	1000	3, 8	Цех №3	1019,1	0,510	1243,7	0,622	709,7

Суммарная мощность цеховых подстанций:

$$S_{н.цтп}^H = S_{н.тп1} + S_{н.тп2} + \dots + S_{н.тп7} = 8 \cdot 1000 + 2 \cdot 1600 + 4 \cdot 2500 = \\ = 21200 \text{ кВА.}$$

Расчеты показали, что трансформаторные подстанции загружены в пределах нормы.

Произведём расчёт потерь в цеховых подстанциях.

Пример расчета для ТП1.

$$\Delta P_{трТП1} = \Delta P_{xx} \cdot n + \Delta P_{кз} \cdot \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{S_{р.тп}}{S_{ном.т}} \right)^2 = 1,55 \cdot 2 + 10,8 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1151,4}{1000} \right)^2 = \\ = 10,26 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{трТП1} = S_{ном.т} \cdot \frac{I_{xx}}{100} \cdot n + S_{ном.т} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{S_{р.тп}}{S_{ном.т}} \right)^2 \\ = 1,55 \cdot 2 + 10,8 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1151,4}{1000} \right)^2 = \\ = 60,46 \text{ кВАр}$$

Результаты расчётов потерь в трансформаторах сведены в таблицу 2.6

Таблица 2.6 – Потери в трансформаторах

№ ТП	N <sub>т</sub> , шт	S <sub>ном.т</sub> , кВА	S <sub>р.ТП</sub> , кВА	P <sub>хх</sub> , кВт	P <sub>кз</sub> , кВт	U <sub>к</sub> , %	I <sub>хх</sub> , %	ΔP <sub>трТП</sub> , кВт	ΔQ <sub>трТП</sub> , кВар
ТП1	2	1000	1151,4	2,45	12,2	5,5	1,4	12,99	64,46
ТП2	2	1600	2105,8	3,3	18	5,5	1,3	22,19	117,82
ТП3	2	1000	1355,1	2,45	12,2	5,5	1,4	16,10	78,50
ТП4	2	1000	1292,4	2,45	12,2	5,5	1,4	15,09	73,93
ТП5	2	2500	2700,7	4,6	25	5,5	1	23,79	130,23
ТП6	2	2500	2747,2	4,6	25	5,5	1	24,29	133,02
ТП7	2	1000	1243,7	1,55	10,8	5,5	1,2	11,45	66,54
Итого	14	21200	12596,3	-	-	-	-	125,90	664,49

Компенсация реактивной мощности не требуется.

На данном предприятии имеется высоковольтная нагрузка в виде синхронного двигателя. В качестве СД принимаем двигатель типа СТД-1600-2.

Параметры двигателя СТД-1600-2 [11, стр. 172, табл. П7.3.]

- номинальная напряжение двигателя  $U_{ном} = 10$  кВ;
- номинальная активная мощность  $P_{сд} = 1600$  кВт;
- номинальная реактивная мощность  $Q_{сд} = 705$  кВар;
- КПД  $\eta = 96,31$  %;
- число двигателей  $n_{сд} = 1$ .

Коэффициент загрузки СД по активной мощности

$$\beta_{сд} = \frac{P_{синх}}{P_{сд} \cdot n_{сд}} = \frac{1600}{1600 \cdot 1} = 1,0,$$

где  $P_{синх}$  – нагрузка СД на стороне ВН, кВт.

Напряжение на зажимах СД:

$$U_{сд} = \frac{U_{ном}^{сн}}{U_{ном}} = \frac{10,0}{10,0} = 1,0.$$

Наибольшая допустимая перегрузка двигателя по реактивной мощности [11, стр. 173, табл. П7.5.]

$$\alpha_m = 1,23.$$

Суммарная располагаемая реактивная мощность двигателя

$$Q_m = \frac{n_{сд} \cdot \alpha_m \cdot Q_{сд}}{\eta} = \frac{1 \cdot 1,23 \cdot 705}{96,31} \cdot 100 = 900,4 \text{ кВар}.$$

Таким образом, для компенсации частично или полностью можно использовать реактивную мощность, вырабатываемую высоковольтными синхронными двигателями.

Полная расчетная мощность трансформаторов ГПП.

$$S_{p, ГПП} = S_{н.цтп}^H + S_{сд}^B + \Delta S_{цтп} = 17600 + \sqrt{1600^2 + 900,4^2} + \sqrt{125,9^2 + 664,5^2} = 21200,0 + 1835,95 + 676,31 = 23712,26 \text{ кВА.}$$

На рисунке 2.3 приведен план предприятия с предварительным размещением трансформаторных подстанций, ГПП, РП, РУВН и трасс линий электропередачи.

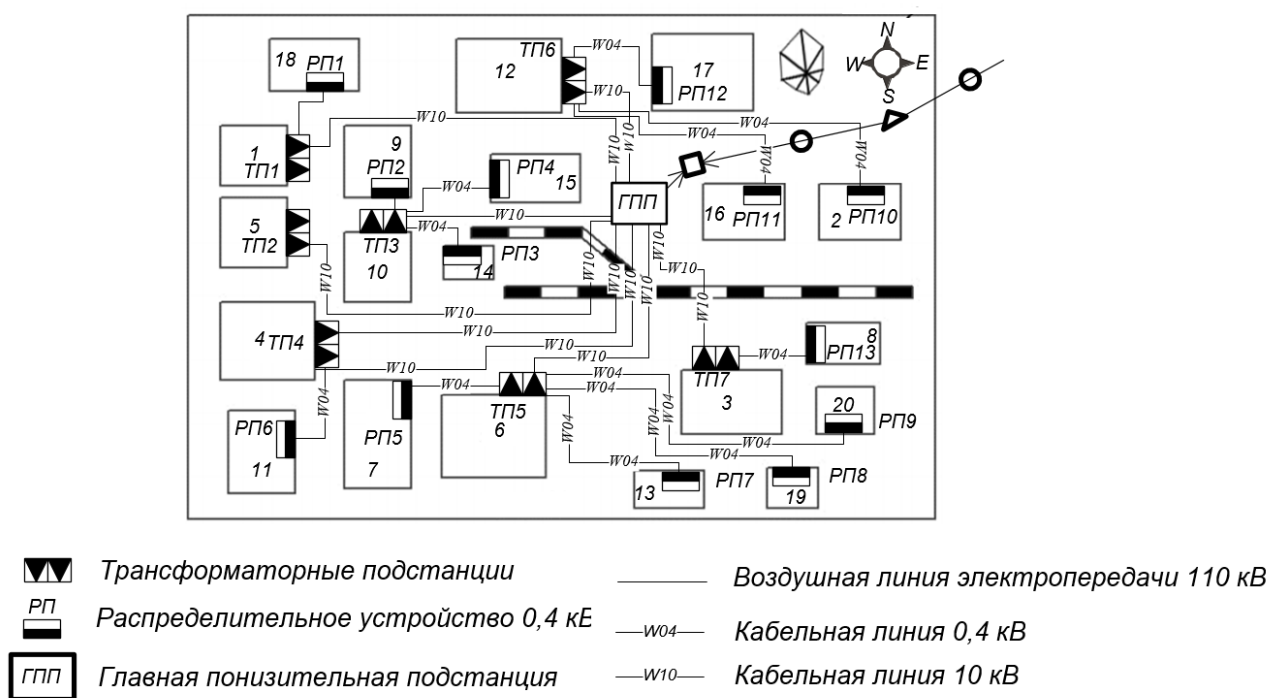


Рисунок 2.3 – План предприятия с предварительным расположением объектов электроснабжения

Разработанная схема электроснабжения надежна, так как используются преимущественно радиальные линии. Выполненная по радиальной схеме сеть электроснабжения обеспечивает передачу электроэнергии от источников питания к потребителям без ответвлений по пути для питания других потребителей. Данная схема позволяет использовать большого количества аппаратов и кабельных линий. Радиальная схема применяется для питания ответственных и крупных потребителей.

## 2.5 Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия

Распределительная сеть выше 1000 В по территории завода прокладывается кабельными линиями с алюминиевыми жилами марки АПвБП в кабель-канале. Питание высоковольтных двигателей осуществляем кабельными линиями с алюминиевыми жилами марки АПвВнг, проложенными в кабель-канале.

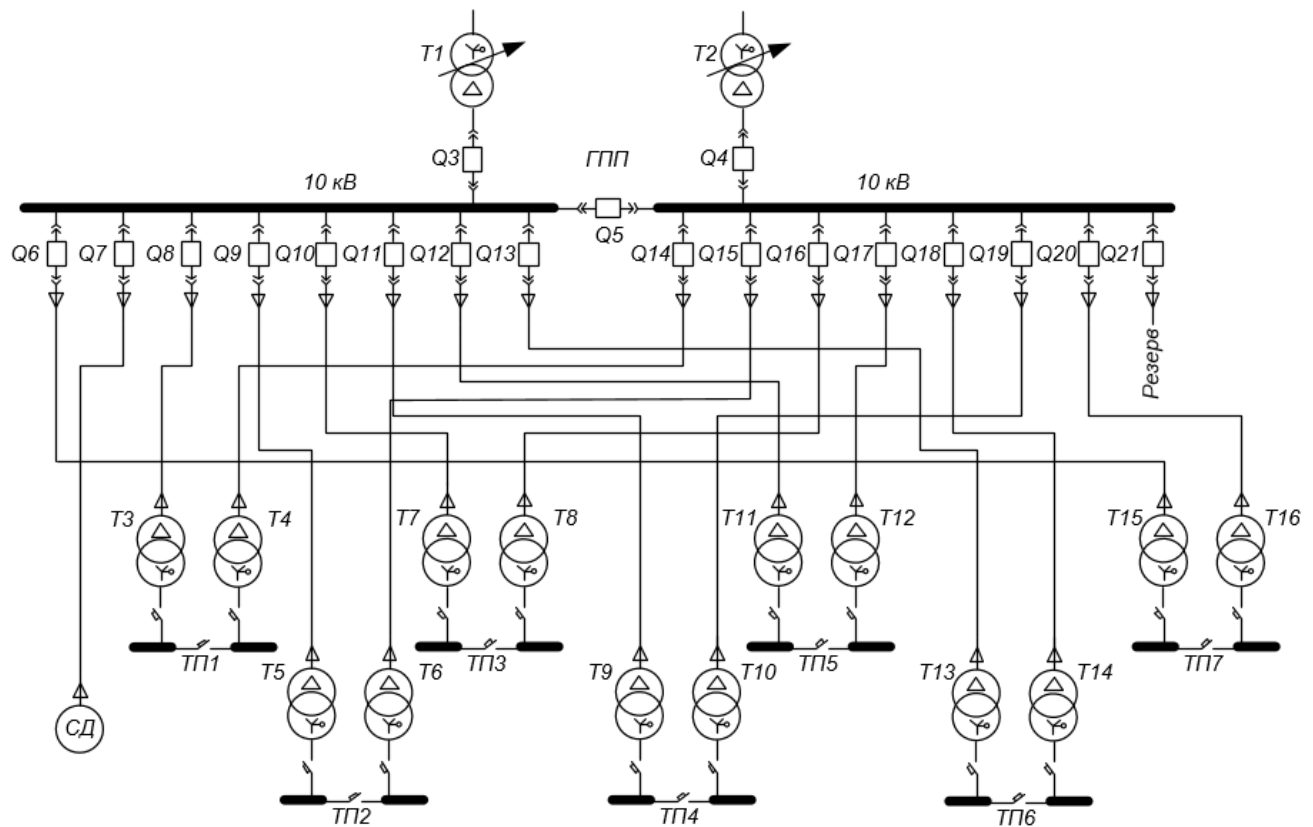


Рисунок 2.4 – Упрощенная схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников

Примеры расчета

Участок ГПП – ТП1

Потери мощности в трансформаторах

$$\Delta P_T = n_T \cdot (\Delta P_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 2 \cdot (1,55 + 0,576^2 \cdot 5,5) = 10,27 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 2 \cdot (12,0 + 0,576^2 \cdot 55,0) = 60,5 \text{ кВАр},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{10,27^2 + 60,5^2} = 61,4 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_T \cdot S_{\text{ном.т}} + \Delta S_T}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000 + 61,4}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ A},$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

$n_{\text{ц}}$  – число цепей питающих линий;

$n_T$  – число трансформаторов.

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{n_T \cdot S_{\text{ном.т}} + \Delta S_T}{(n_{\text{ц}} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000 + 61,4}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 115,5 \text{ A}.$$

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{57,7}{1,2} = 48,1 \text{ мм}^2,$$

где  $j_{\text{э}}$  – экономическая плотность тока [16, табл. 1.3.36], А/мм<sup>2</sup>.

Намечаем кабель АПвБП ближайшего стандартного сечения с параметрами [1]  $S = 50 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 156 \text{ A}$ .

Фактическая длина кабельной линии

$$L_{\text{факт}} = 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = 0,418 \text{ км},$$

где  $L$  – длина линии по генплану, км;

1,04 – 4% запас длины кабеля на непрямолинейную прокладку;

1,02 – 2% запас длины кабеля на разделку;

0,005 – запас длины кабеля на выход из ТП и на ввод в цех, км.

Выполняем проверку по тепловому нагреву в нормальном режиме и с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме

$$I_{\text{доп}} = 156 \text{ A} > I_{\text{расч}} = 57,7 \text{ A},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 156 = 202,8 \text{ A} > I_{\text{расч.п/ав}} = 115,5 \text{ A}.$$

Проверка кабеля на потерю напряжения  $\Delta U_{\text{ном}} < 10\%$  [1, стр. 141]

$$\cos \varphi = 0,76,$$

$$\sin \varphi = 0,65,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left( \frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 57,7 \cdot 0,418 \cdot \left( \frac{0,822}{2} \cdot 0,76 + \frac{0,104}{2} \cdot 0,65 \right) = 25,1 \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\text{ном, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{25,1}{10000} \cdot 100\% = 0,251 \% < 10\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Участок ГПП-Синхронный двигатель

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,90} = 102,6 \text{ А},$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{102,6}{1,2} = 85,5 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПВВнг с параметрами [20]  $S = 95 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 263 \text{ А}$ .

Фактическая длина кабельной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{факт}} &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,490) = 0,531 \text{ км}, \end{aligned}$$

где  $L$  – длина линии по генплану, км;

1,04 – 4% запас длины кабеля на непрямолинейную прокладку;

1,02 – 2% запас длины кабеля на разделку;

0,005 – запас длины кабеля на выход из ТП и на ввод в цех, км.

Выполняем проверку по тепловому нагреву в нормальном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 263 = 236,7 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 102,6 \text{ А},$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент прокладки [6].

Проверка кабеля на потерю напряжения  $\Delta U_{\text{ном}} < 10\%$  [1, стр. 141]

$$\cos \varphi = 0,90, \quad \sin \varphi = 0,44,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left( \frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 102,6 \cdot 0,531 \cdot (0,32 \cdot 0,90 + 0,112 \cdot 0,44) = 55,1 \text{ В}, \\ \Delta U_{\text{ном, \%}} &= \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{55,1}{10000} \cdot 100\% = 0,551 \% < 5\%. \end{aligned}$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Дальнейшие расчеты сводим в таблицы 2.8 и 2.9.

Таблица 2.8 – Выбор сечений проводников сети выше 1000 В

Участок	Мощность участка, кВА	$\Delta S_{\text{т}}$ , кВА	$U_{\text{ном}}$ , кВ	$L_{\text{факт}}$ , км	$n_{\text{ц}}$ , шт	Расчетная нагрузка		$S_{\text{э}}$ , мм <sup>2</sup>	Марка и сечение	$K_{\text{пр}}$	Допустимая нагрузка	
						$I_{\text{расч}}$ , А	$I_{\text{расч.ав}}$ , А				$I_{\text{доп}}$ , А	$1,3 \cdot I_{\text{доп}}$ , А
ГПП–ТП1	2000,0	61,4	10	0,418	2	57,7	115,5	48,1	АПвБП (3 × 50)	1,00	156,0	202,8
ГПП–ТП2	3200,0	116,6	10	0,508	2	92,4	184,8	92,4	АПвБП (3 × 95)	1,00	233,0	302,9
ГПП–ТП3	2000,0	75,5	10	0,274	2	57,7	115,5	48,1	АПвБП (3 × 50)	1,00	156,0	202,8
ГПП–ТП4	2000,0	77,8	10	0,429	2	57,7	115,5	48,1	АПвБП (3 × 50)	1,00	156,0	202,8
ГПП–ТП5	3200,0	125,8	10	0,239	2	92,4	184,8	20,2	АПвБП (3 × 95)	1,00	233,0	302,9
ГПП–ТП6	3200,0	126,9	10	0,166	2	92,4	184,8	92,4	АПвБП (3 × 95)	1,00	233,0	302,9
ГПП–ТП7	2000,0	48,0	10	0,177	2	28,9	-	24,1	АПвБП (3 × 35)	1,00	136,0	-
РУ1 – СД	1065,7	–	10	0,531	1	102,6	–	85,5	АПвВнг-1(3 × 95)	0,90	263,0	–

Таблица 2.9 – Определение потерь напряжения во внутризаводской сети

Участок	$U_{\text{ном}}$ , кВ	Марка провода	$L_{\text{факт}}$ , км	$I_{\text{расч}}$ , А	$n_{\text{ц}}$ , шт	$r_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$\Delta U_{\text{ном}}$ , %
ГПП–ТП1	10	АПвБП (3 × 50)	0,418	57,7	2	0,822	0,104	0,76	0,65	0,251
ГПП–ТП2	10	АПвБП (3 × 95)	0,508	92,4	2	0,411	0,092	0,75	0,66	0,260
ГПП–ТП3	10	АПвБП (3 × 50)	0,274	57,7	2	0,822	0,104	0,76	0,65	0,164
ГПП–ТП4	10	АПвБП (3 × 50)	0,429	57,7	2	0,822	0,104	0,81	0,59	0,270
ГПП–ТП5	10	АПвБП (3 × 95)	0,239	92,4	2	0,411	0,092	0,89	0,46	0,135
ГПП–ТП6	10	АПвБП (3 × 95)	0,166	92,4	2	0,411	0,092	0,98	0,20	0,097
ГПП–ТП7	10	АПвБП (3 × 35)	0,177	28,9	1	0,868	0,109	0,81	0,59	0,118
ГПП – СД	10	АПвВнг (3 × 95/25)	0,531	102,6	1	0,320	0,112	0,90	0,44	0,551

Таким образом, был произведен выбор питающих проводников и выполнены проверки по условию нагрева и по допустимой

## 2.6 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

В электрических установках могут возникать различные виды коротких замыканий, которые сопровождаются резким увеличением тока. Из-за этого выбираемое электрооборудование должно быть устойчивым к токам КЗ и выбираться с учетом величин этих токов.



Поскольку предприятие получает питание от энергосистемы неограниченной мощности, то напряжение на шинах ВН ГПП при расчете считается постоянным, так же периодическая составляющая тока КЗ практически не изменяется во времени и остается постоянной от начала КЗ до его окончания.

Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. В этом методе расчёта расчетные данные необходимо привести к базисному напряжению и базисной мощности.

Для дальнейшего расчета необходимо знать параметры трансформаторов ГПП и воздушной линии, питающей предприятие.

Поскольку на ГПП установлено два трансформатора, то при аварии с одним из параллельно работающих трансформаторов, оставшийся в работе принимает на себя его нагрузку, что необходимо учитывать при расчёте мощности трансформатора.

Номинальная мощность трансформаторов ГПП

$$S_{\text{т.расч}} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{n_{\text{т}} \cdot \beta_{\text{т}}} = \frac{23712,26}{2 \cdot 0,7} = 16937,3 \text{ кВА},$$

где  $S_{\text{р.ГПП}}$  – полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП, кВА;

$\beta_{\text{т}}$  – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП;

$n_{\text{т}}$  – число трансформаторов на ГПП.

Полученное значение  $S_{\text{т.расч}}$  округляется в большую сторону до ближайшего стандартного значения. Исходя из расчета, принимаем к установке на главной понизительной подстанции двухобмоточные трансформаторы марки ТРДН-25000/110 с номинальной мощностью  $S_{\text{т}} = 25000$  кВА.

Проверяем установленную мощность трансформатора в послеаварийном режиме при отключении одного из трансформаторов

$$S_{\text{р.ГПП}} = 23712,26 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{\text{ном.т}} = 1,4 \cdot 25000 = 35000 \text{ кВА}.$$

Следовательно, выбранная мощность трансформаторов обеспечивает электроснабжение предприятия в послеаварийном режиме.

Таблица 2.10 – Параметры трансформаторов на ГПП [15]

Тип	$S_{\text{ном}},$ МВА	$U_{\text{вн}},$ кВ	$U_{\text{нн}},$ кВ	$P_{\text{хх}},$ кВт	$P_{\text{кз}},$ кВт	$U_{\text{к}},$ %	$I_{\text{хх}},$ %
ТРДН-25000/110	25,0	115,0	10,0	25,0	120,0	10,5	0,65

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{25000,0}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 65,6 \text{ А.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{25000,0}{\sqrt{3} \cdot 110} = 131,2 \text{ А.}$$

В целях экономической выгоды целесообразно взять провода следующего сечения:

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{65,6}{1} = 65,6 \text{ мм}^2,$$

где  $j_{\text{э}}$  – нормированное значение экономической плотности тока с учетом числа часов использования максимальной нагрузки [16, табл. 1.3.36], А/мм<sup>2</sup>.

По стандартному ряду сечений принимаем провод марки АС-120/19 с  $I_{\text{доп}} = 390 \text{ А}$  [15, стр. 82, табл. 3.15].

– Проверка по перегрузочной способности (в послеаварийном режиме при отключении одной из питающих линий)

$$I_{\text{расч.п/ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 390 = 507,0 \text{ А.}$$

Проверка выполняется.

– Применение сталеалюминевых проводов на ВЛ выше 1кВ разрешено, но их сечение должно быть не меньше 25мм<sup>2</sup>, исходя из условий механической прочности. Таким образом, проверка выполняется.

– Проверка по допустимой потере напряжения

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 6,4 \cdot 10 \cdot \frac{390}{34,7} = 687,6 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 21,0 \text{ км},$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  – допустимое значение потери напряжения [1, стр. 27], %;

$L_{\text{доп}}$  – допустимая длина линии, км;

$L_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной загрузке, на которой потеря напряжения равна 1% [14, стр. 440, табл. П.4].

Проверка выполняется.

– Проверка на корону: для линий 110 кВ минимально допустимое сечение по условиям короны сталеалюминиевого провода 70 мм<sup>2</sup> с диаметром провода 11,4 мм [15, табл. 3.7.]. У выбранного провода сечение 120 мм<sup>2</sup> с диаметром 19 мм. Сечение выбранного провода больше минимального, проверка выполняется.

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения, рисунок 2.5 и на её основе схему замещения, рисунок 2.6. Расчетная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указывают все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток КЗ. Здесь же указывают точки, в которых необходимо определить ток КЗ.

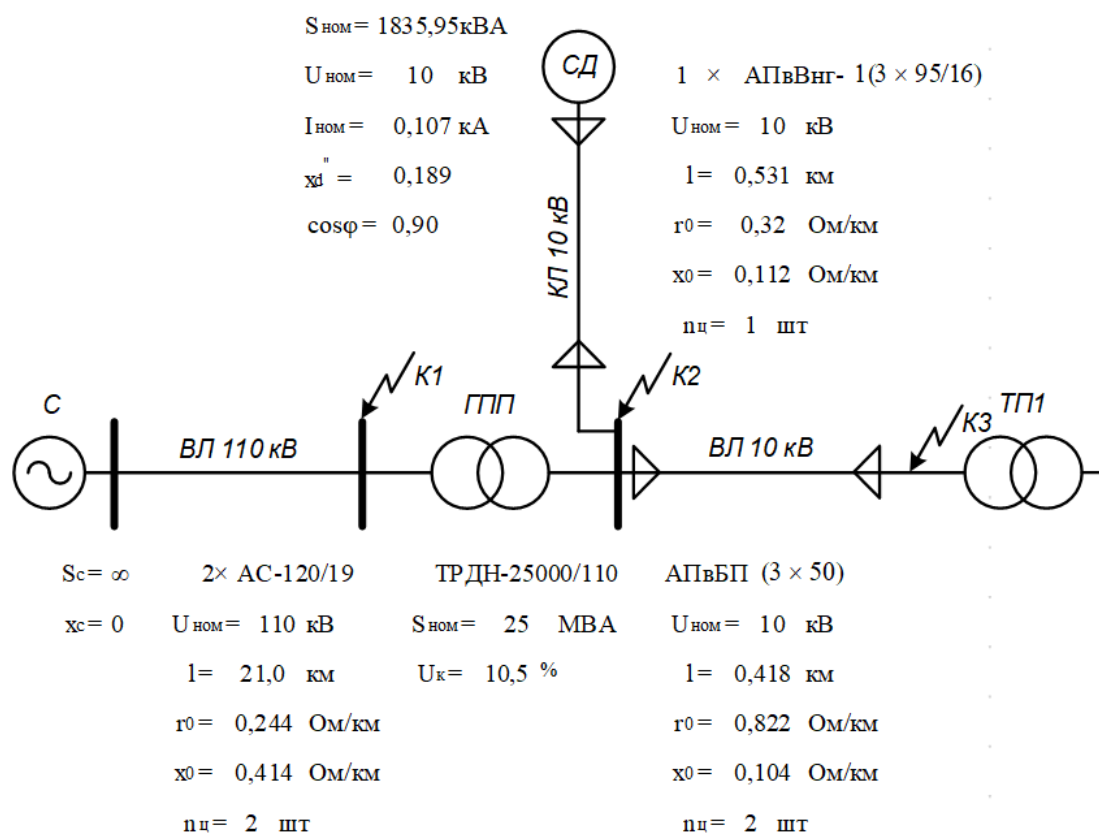


Рисунок 2.5 – Расчетная схема рассматриваемого участка

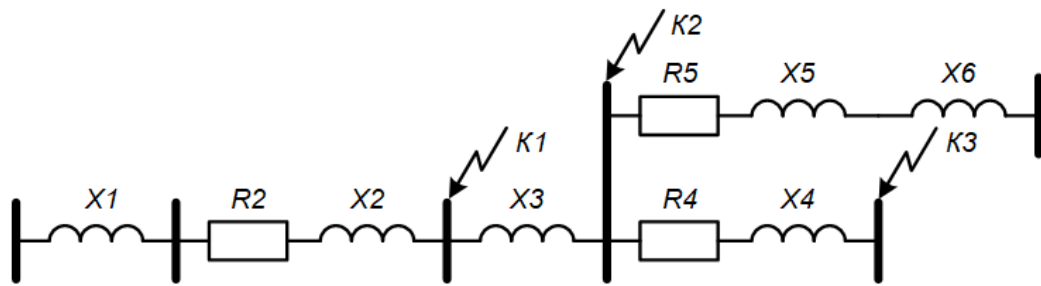


Рисунок 2.6 – Схема замещения рассматриваемого участка

Принимаем базисные величины

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, \quad U_{\text{ср.ном1}} = 115,0 \text{ кВ}, \quad U_{\text{ср.ном2}} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном1}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115,0} = 0,502 \text{ кА},$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном2}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА}.$$

Параметры схемы замещения

Система

$$S_c = \infty, \quad X_c = X_1 = \frac{S_6}{S_c} = 0.$$

Воздушная линия

$$R_2 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,244 \cdot 21,0 \cdot \frac{100}{115,0^2} = 0,039,$$

$$X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,414 \cdot 21,0 \cdot \frac{100}{115,0^2} = 0,066.$$

Трансформаторы

$$X_3 = \frac{U_{\text{к, \%}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{25,0} = 0,42.$$

АПВБП, питающий подстанцию

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,822 \cdot 0,418 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,312,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,104 \cdot 0,418 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,039.$$

Кабельная линия, питающая высоковольтный двигатель

$$R'_5 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,32 \cdot 0,531 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,154,$$

$$X'_5 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,112 \cdot 0,531 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,054.$$

Высоковольтный двигатель

Сопротивление двигателя

$$X'_6 = \frac{x''_d \cdot S_6}{S_{\text{ном}}} = \frac{0,189 \cdot 100}{1,84} = 17,735,$$

а) Точка К1

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К1

$$R_C = R_2 = 0,039, \quad X_C = X_1 + X_2 = 0 + 0,066 = 0,066.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К1

$$R_D = R_5 = 0,154, \quad X_D = X_3 + X_5 + X_6 = 0,42 + 0,054 + 17,735 = 18,209.$$

Результирующее сопротивление в точке К1

$$R_{\text{рез1}} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,039 \cdot 0,154}{0,039 + 0,154} = 0,031,$$

$$X_{\text{рез1}} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{0,066 \cdot 18,209}{0,066 + 18,209} = 0,066,$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{R_{\text{рез1}}^2 + X_{\text{рез1}}^2} = \sqrt{0,031^2 + 0,066^2} = 0,073.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К1

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_{\text{б1}}}{Z_{\text{рез1}}} = \frac{0,502}{0,073} = 6,88 \text{ кА}.$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a1} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{0,066}{314 \cdot 0,039} = 0,0068 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0068} = 1,23.$$

Ударный ток КЗ в точке К1

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,23 \cdot 6,88 = 11,97 \text{ кА}.$$

б) Точка К2

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К2

$$R_C = R_2 = 0,039, \quad X_C = X_1 + X_2 + X_3 = 0 + 0,066 + 0,42 = 0,486.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К2

$$R_D = R_5 = 0,154, \quad X_D = X_5 + X_6 = 0,054 + 17,735 = 17,789.$$

Результирующее сопротивление в точке К2

$$R_{рез2} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,039 \cdot 0,154}{0,039 + 0,154} = 0,031,$$

$$X_{рез2} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{0,486 \cdot 17,789}{0,486 + 17,789} = 0,481,$$

$$Z_{рез2} = \sqrt{R_{рез2}^2 + X_{рез2}^2} = \sqrt{0,031^2 + 0,481^2} = 0,482.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К2

$$I_{к2} = \frac{I_{62}}{Z_{рез2}} = \frac{5,499}{0,482} = 11,41 \text{ кА}.$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a2} = \frac{X_{рез2}}{\omega \cdot R_{рез2}} = \frac{0,481}{314 \cdot 0,031} = 0,0494 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,0494} = 1,82.$$

Ударный ток КЗ в точке К2

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 11,41 = 29,316 \text{ кА}.$$

в) Точка К3

Сопротивление от источника до точки К3

$$R_{рез3} = R_{рез2} + R_4 = 0,031 + 0,312 = 0,343,$$

$$X_{рез3} = X_{рез2} + X_4 = 0,481 + 0,039 = 0,52,$$

$$Z_{рез3} = \sqrt{R_{рез3}^2 + X_{рез3}^2} = \sqrt{0,343^2 + 0,52^2} = 0,623.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К3

$$I_{к3} = \frac{I_{62}}{Z_{рез3}} = \frac{5,499}{0,623} = 8,827 \text{ кА}.$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a3} = \frac{X_{рез3}}{\omega \cdot R_{рез3}} = \frac{0,52}{314 \cdot 0,343} = 0,0048 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд3} = 1 + e^{-0,01/T_{a3}} = 1 + e^{-0,01/0,0048} = 1,13.$$

Ударный ток КЗ в точке КЗ

$$i_{удЗ} = \sqrt{2} \cdot k_{удЗ} \cdot I_{кЗ} = \sqrt{2} \cdot 1,13 \cdot 8,827 = 14,057 \text{ кА.}$$

Полученное по экономической плотности тока сечение высоковольтных линий необходимо проверить на термическую стойкость при коротком замыкании.

а) Проверка АПВБП

Тепловой импульс тока короткого замыкания

$$B_k = I_{к2}^2 \cdot (\tau + T_{a2}) = 11410^2 \cdot (0,07 + 0,0494) = 15544459,1 \text{ А}^2 \cdot \text{сек},$$

где  $\tau$  – расчетное время срабатывания выключателя [18, стр. 630, табл. П4.4], с.

Термически стойкое сечение равно

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{15544459,1}}{90} = 43,8 \text{ мм}^2 < S_{\text{факт}} = 50 \text{ мм}^2,$$

где  $C_T$  – коэффициент, зависящий от материала проводника [1, стр. 139]  $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ ;

$S_{\text{факт}}$  – сечение линии, питающей подстанцию,  $\text{мм}^2$ .

Предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит.

б) Проверка кабеля АПВВнг

Тепловой импульс тока короткого замыкания

$$B_k = I_{к2}^2 \cdot (\tau + T_{a2}) = 11410^2 \cdot (0,07 + 0,0494) = 15544459,1 \text{ А}^2 \cdot \text{сек},$$

где  $\tau$  – расчетное время срабатывания выключателя [18, стр. 630, табл. П4.4], с.

Термически стойкое сечение равно

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{15544459,1}}{90} = 43,8 \text{ мм}^2 < S_{\text{факт}} = 95 \text{ мм}^2.$$

Предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит.

Проверка медного экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Так как продолжительность короткого замыкания отличается от 1 с, то необходимо определить поправочный коэффициент

$$K = \frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{1}{\sqrt{(\tau + T_{a2})}} = \frac{1}{\sqrt{(0,07 + 0,0494)}} = 2,89,$$

где  $t$  – продолжительность короткого замыкания, с.

Допустимый ток медного экрана

$$I_{к.э} = k \cdot S_{м.э} \cdot K = 0,191 \cdot 25 \cdot 2,89 = 13,8 \text{ кА},$$

где  $k$  – коэффициент, равный  $0,191 \text{ кА/мм}^2$  [21], с;

$S_{м.э.}$  – номинальное сечение медного экрана, мм<sup>2</sup>.

Двухфазное короткое замыкание

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)} = 0,87 \cdot I_K^{(3)} = 0,87 \cdot 11,41 = 9,93 \text{ кА} < I_{к.э} = 13,8 \text{ кА}.$$

Условие выполняется.

Расчет токов КЗ по остальным участкам сведем в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	U <sub>ср.ном</sub> , кВ	I <sub>б</sub> , кА	R <sub>рез</sub>	X <sub>рез</sub>	Z <sub>рез</sub>	I <sub>к</sub> , кА	T <sub>а</sub> , с	k <sub>уд</sub>	i <sub>уд</sub> , кА	B <sub>к</sub> , А <sup>2</sup> ·с	S <sub>min</sub> , мм <sup>2</sup>
К1	115,0	0,502	0,031	0,066	0,073	6,88	0,0068	1,23	11,97	–	–
К2	10,5	5,499	0,031	0,481	0,482	11,41	0,0494	1,82	29,32	15544459,1	43,8
К3	10,5	5,499	0,343	0,52	0,623	8,83	0,0048	1,13	14,1	–	–

По результатам расчета токов короткого замыкания выбранные проводники были проверены на термическую стойкость. Расчет показал, что выбранные сечения превышают минимально допустимое.



### 3 Внешнее электроснабжение предприятий

Условно подстанцию можно разделить на три основные части: РУ открытого типа напряжением 110кВ; силовой трансформатор; РУ закрытого типа напряжением 10кВ.

В данном проекте рассматривается подстанция тупикового вида. В состав основных элементов ОРУ относят такие агрегаты как измерительные трансформаторы тока и напряжения, разъединители, короткозамыкатели, отделители и высоковольтные выключатели.

Основным элементом понижающей подстанции служит силовой трансформатор с напряжением первичной обмотки 110 кВ.

Для распределения электрической энергии на напряжении 10 кВ требуется разработка закрытого распределительного устройства. Размер этого устройства напрямую зависит от количества присоединений на данном напряжении. На каждое присоединение к шинам 10 кВ требуется отдельная ячейка КРУ. Нормальному функционированию распределительной сети способствует подключение всех цеховых трансформаторных подстанций, устройств компенсации мощности номиналом 10кВ и измерительных ТР 10кВ, кроме того следует оставить место под резервные линии.

#### 3.1 Разработка схемы внешнего электроснабжения

Состав оборудования открытого распределительного устройства подстанции определяется его главной схемой соединений. В настоящее время оборудование выбранной схемы ОРУ может поставляться комплектно.

В пункте 2.2 было рассчитано экономически целесообразная величина напряжения питающих линий по формуле Илларионова. С учетом рекомендаций было принято напряжение питающих линий  $U_{ном} = 110 \text{ кВ}$ .

Принимаем схему внешнего электроснабжения в виде двух блоков с выключателями Q1 и Q2 и неавтоматической перемычкой [22]. При нарушении в трансформаторе Т1, сработает защита и подаст сигнал на отключение выключателя в цепях трансформатора на низкой Q4 и высокой Q2 стороне. Секционный выключатель низкой стороны Q5 подключит секцию, оставшуюся без напряжения.

Разъединители QS3 и QS4 в ремонтной перемычке нормально отключены. В случае вывода в ремонт трансформатора T2 или выключателя в цепи трансформатора Q2 или Q4 есть возможность оставить в работе обе питающие линии путем включения разъединителей перемычки QS3 и QS4. Причем сначала включается перемычка, а затем отключаются цепи трансформатора. Схема представлена на рисунке 3.1.

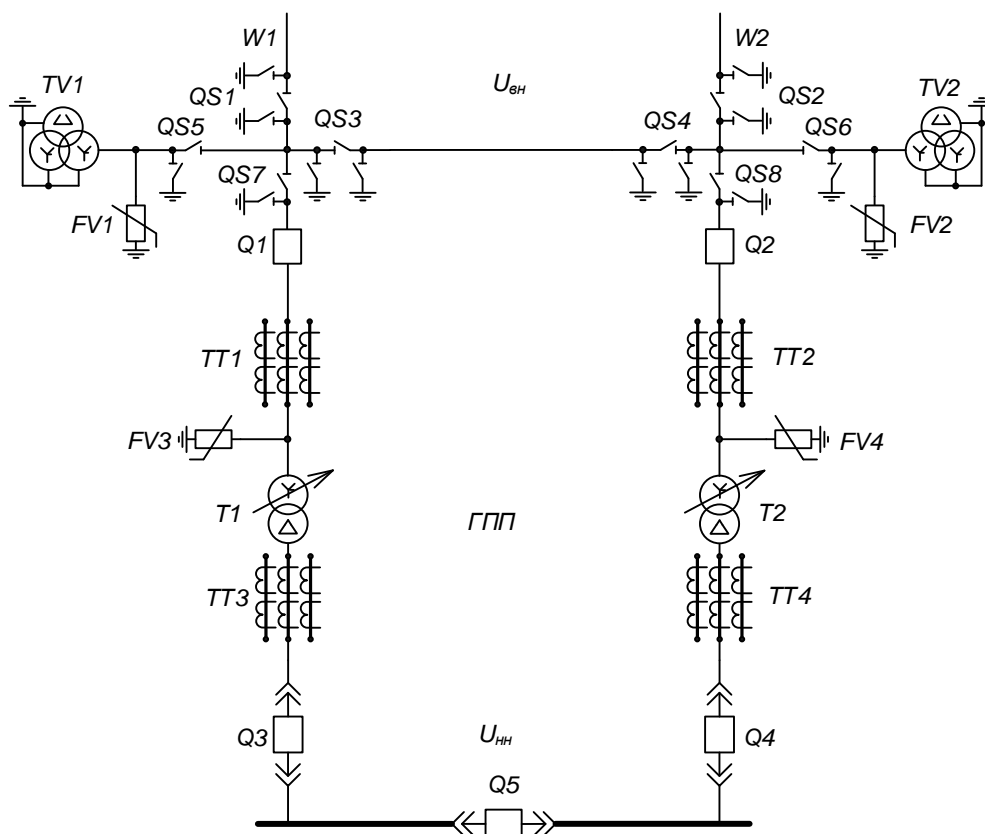


Рисунок 3.1 – Схема внешнего электроснабжения

Электроснабжение потребителей второй категории осуществляется с помощью двухтрансформаторной подстанции. При использовании двух трансформаторов коэффициент загрузки не должен превышать 0,7, что объясняется возможностью сохранения работоспособности электроустановки при выходе из строя одного из трансформаторов. Работа исправного трансформатора допускается с загрузкой 1,4, но не более 5 дней подряд по 6 часов.

В пункте 2.6 была определена расчетная мощность трансформаторов ГПП с учетом определенной мощности компенсирующих устройств. К установке на главной понижающей подстанции приняты два двухобмоточных трансформатора марки ТРДН-25000/110.

Электроснабжение ГПП осуществляется по двухцепной воздушной линии электропередач, проложенной на стальных опорах сталеалюминевыми проводами марки АС.

В пункте 2.6 было выбрано сечение воздушной линии электропередачи методом экономической плотности тока. Так же были проведены необходимые проверки – проверка на перегрузочную способность, по допустимой потере напряжения, на механическую прочность и на корону. Марка провода и сечение линии принято АС-120/19.

## 3.2 Выбор силового оборудования

### 3.2.1 Выбор выключателей и разъединителей

Намечаем к установке на стороне ВН трансформатора ГПП элегазовый выключатель ВГТ-110-40/2000-УХЛ1.

Намечаем к установке на стороне НН трансформатора ГПП электромагнитный выключатель ВВУ-10-25/1250-У3.

Параметры выключателя приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры выключателя [23, 24]

№	Параметр	Значение	
1	Тип	ВГТ	ВВУ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$ , кВ	110	10
3	Номинальный ток $I_{ном}$ , А	2000	1250
4	Номинальный ток отключения $I_{отк.ном}$ , кА	40	25
5	Ток электродинамической стойкости $I_{дин}$ , кА	40	63
6	Пик тока электродинамической стойкости $i_{дин}$ , кА	102	63
7	Ток термической стойкости $I_{тер}$ , кА	40	25
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$ , с	3	3
9	Полное время отключения выключателя $t_{отк.в}$ , с	0,055	0,05
10	Климатическое исполнение	ХЛ1	У3

Пример выбора выключателя на стороне ВН трансформатора ГПП

– по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 110 \text{ кВ} = U_{ном} = 110 \text{ кВ};$$

– по току  $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{\max} = \frac{S_{p.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{16937,3}{\sqrt{3} \cdot 110,0} = 88,9 \text{ A} < I_{\text{НОМ}} = 2000 \text{ A};$$

– по отключающей способности  $I_{n,t} \leq I_{\text{отк.НОМ}}$

$$I_{n,t} = 6,88 \text{ кА} < I_{n,t} = 40,0 \text{ кА};$$

– на электродинамическую стойкость  $I_{n,0} \leq I_{\text{дин}}, i_{уд} \leq i_{\text{дин}}$

$$I_{n,0} = 6,88 \text{ кА} < I_{\text{дин}} = 40,0 \text{ кА};$$

$$i_{уд} = 11,97 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА};$$

– по термической стойкости  $B_k \leq I_{2\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_k = I_{n,0}^2 \cdot (t_{p.z.} + t_{\text{отк.в}} + T_a) = 6,88^2 \cdot (1,2 + 0,055 + 0,0068) = 59,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40,0^2 \cdot 3 = 4800,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$B_k = 59,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 4800,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель проходит по результатам проверок.

Намечаем к установке на высокой стороне трансформатора ГПП разъединитель РДЗ-110/1000-УХЛ1.

Так как на низкой стороне используются выкатные тележки, то разъединитель не устанавливается.

Параметры разъединителя приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры разъединителя [18, стр. 630, табл. П4.1]

№	Параметр	Значение
1	Тип	РДЗ
2	Номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}}$ , кВ	110
3	Номинальный ток $I_{\text{НОМ}}$ , А	1000
4	Амплитуда предельного сквозного тока $i_{\text{пр.с.}}$ , кА	80
5	Ток термической стойкости $I_{\text{тер}}$ , кА	31,5
6	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{\text{тер}}$ , с	3
7	Климатическое исполнение	УХЛ1

Пример выбора разъединителя на стороне ВН трансформатора ГПП

– по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{НОМ}}$

$$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ};$$

– по току  $I_{\max} \leq I_{\text{НОМ}}$

$$I_{\max} = 72,7 \text{ A} < I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ A};$$

– на электродинамическую стойкость  $i_{уд} \leq i_{пр.с}$

$$i_{уд} = 11,97 \text{ кА} < i_{пр.с} = 80 \text{ кА};$$

– по термической стойкости  $B_k \leq I_{2тер} \cdot t_{тер}$

$$B_k = 59,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 31,5^2 \cdot 4 = 3969,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Разъединитель проходит по результатам проверок.

Оборудование выбираем одностипное, т.е. все выключатели и разъединители на высокой стороне будут одной марки.

Дальнейший расчет сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Выбор выключателей и разъединителей

Расчетные данные	Выключатель ВГТ-110-40/2000-УХЛ1	Разъединитель РДЗ-110/1000-УХЛ1
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 72,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{н,t} = 6,88 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА}$	–
$I_{н,0} = 6,88 \text{ кА}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	–
$i_{уд} = 11,97 \text{ кА}$	$i_{дин} = 102 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 59,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Расчетные данные	Выключатель ВВУ-10-25/1250-УЗ	Разъединитель
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	Используется выкатная тележка
$I_{max} = 799,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1250 \text{ А}$	
$I_{н,t} = 5,23 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 25 \text{ кА}$	
$I_{н,0} = 5,23 \text{ кА}$	$I_{дин} = 25 \text{ кА}$	
$i_{уд} = 14,14 \text{ кА}$	$i_{дин} = 63 \text{ кА}$	
$B_k = 37,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

### 3.2.2 Выбор измерительных трансформаторов тока

Основная функция трансформатора тока заключается в преобразовании высокого значения тока до стандартного значения, приемлимого к использованию в измерительных приборах, при этом осуществляется отделение цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Основными приборами, которые подключаются к трансформаторам тока на понизительных подстанциях являются амперметры, ваттметры, варметры и счетчики активной и реактивной энергии [18, стр. 371, рис. 4.104; 18, стр. 362, табл. 4.11]. Нагрузка трансформаторов тока представлена в таблице 3.4 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 3.4 – Нагрузка трансформаторов тока

Место установки	Прибор	Тип	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Сторона ВН трансформатора ГПП	Амперметр	Э – 350	0,5	—	0,5
	Амперметр	Э – 350	0,5	—	0,5
Итого:			1,0	—	1,0
Сторона НН трансформатора ГПП	Амперметр	Э – 350	—	0,5	—
	Ваттметр	Д – 335	0,5	—	0,5
	Варметр	Д – 335	0,5	—	0,5
	Счетчик W	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
	Счетчик V	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
Итого:			6,0	0,5	6,0

Намечаем трансформаторы тока ТФЗМ110Б У1 и ТШЛ-10 У3.

Параметры трансформатор тока приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Параметры трансформаторов тока [25, стр. 294, табл. 5.9]

№	Параметр	Значение	
1	Тип	ТФЗМ	ТШЛ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$ , кВ	110	10
3	Номинальный ток $I_{ном}$ , А	100	2000
4	Вторичный номинальный ток трансформатора тока $I_2$ , А	5	5
5	Ток электродинамической стойкости $i_{дин}$ , кА	20	—
6	Ток термической стойкости $I_{тер}$ , кА	5	—
7	Кратность	—	35
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$ , с	3	3
9	Вторичная номинальная нагрузка трансформатора тока $Z_{2ном}$ , Ом	1,2	0,8
10	Класс точности	0,5	0,5
11	Климатическое исполнение	У1	У3

Пример выбора трансформатора тока на стороне ВН трансформатора ГПП.

Из таблицы 3.4 видно, что наиболее загружены фазы А и С. Для них ведем расчет.

Проверка трансформаторов тока

– по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 110 \text{ кВ} = U_{ном} = 110 \text{ кВ};$$

– по току  $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{\max} = \frac{S_{p.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{23712,26}{\sqrt{3} \cdot 110,0} = 122,5 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 200 \text{ А};$$

– проверка трансформатора тока по вторичной нагрузке  $Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}$

Общее сопротивление приборов, подключенных к трансформатору тока

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{1,0}{5^2} = 0,04 \text{ Ом},$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами (таблица 3.4).

Допустимое сопротивление проводников

$$r_{\text{пр,доп}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,04 - 0,05 = 1,11 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{к}}$  – сопротивления контактов (0,05 Ом при двух-трех приборах; 0,1 Ом при большем количестве приборов) [18, стр. 374].

Для присоединения приборов к трансформаторам тока используем кабель с алюминиевыми жилами. Расчетное сечение кабеля

$$q_{\text{расч}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 8}{1,11} = 0,20 \text{ мм}^2,$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление алюминиевого провода [18, стр. 374], Ом/мм<sup>2</sup>;

$l_{\text{пр}}$  – длина провода [18, стр. 375], м.

Принимаем кабель марки АКРВГ сечением  $q = 4 \text{ мм}^2$  [18, стр. 375].

Тогда сопротивление кабеля

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 8}{4} = 0,057 \text{ Ом}.$$

Тогда вторичная нагрузка трансформатора тока

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} = 0,04 + 0,057 + 0,05 = 0,147 \text{ Ом} < Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}.$$

– проверка трансформатора тока на электродинамическую стойкость  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$

$$i_{\text{уд}} = 11,97 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 21 \text{ кА};$$

– проверка трансформатора тока на термическую стойкость  $B_{\text{к}} \leq I_{2\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_{\text{к}} = 59,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 5^2 \cdot 3 = 75,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Трансформатор тока пригоден к эксплуатации по результатам проверок.

Трансформатор тока на низкой стороне трансформатора ГПП выбирается аналогично. Поэтому дальнейшие расчеты сведем в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Выбор трансформаторов тока в цепях трансформатора ГПП

Тип ТТ	Расчетные данные	Каталожные данные
ТТ1, ТТ2 Сторона ВН трансформатора	$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 72,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 100 \text{ А}$
	$B_k = 59,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 75,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 11,97 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,147 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$
ТТ3, ТТ4 Сторона НН трансформатора	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 799,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$
	$B_k = 37,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 14700 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 14,14 \text{ кА}$	не проверяется
	$r_2 = 0,397 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0,800 \text{ Ом}$

### 3.2.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

Основная функция ТР напряжения заключается в преобразовании высокого значения напряжения до принятых стандартом 100 вольт, при этом осуществляется отделение цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

В данной работе к трансформаторам напряжения будут подключены вольтметры, ваттметры, варметры, частотомеры и счетчики активной и реактивной энергии [18, стр. 371, рис. 4.104; 18, стр. 362, табл. 4.11]. В таблицу 3.7 занесена нагрузка трансформаторов напряжения [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 3.7 – Нагрузка трансформаторов напряжения

Место установки	Прибор	Тип	$S_{обм}, \text{ В} \cdot \text{А}$	$n_{обм}, \text{ шт}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб}, \text{ шт}$	Потр. мощн.	
								P, Вт	Q, ВАр
Сторона ВН трансформатора ГПП	Вольтметр	Э – 335	2,0	1	1	0	1	2,0	0,0
	Вольтметр	Н – 393	10,0	1	1	0	1	10,0	0,0
	Частотомер	Н – 397	7,0	1	1	0	1	7,0	0,0
Итого:								19,0	0,0
Сторона НН трансформатора ГПП	Вольтметр	Э – 335	2,0	1	1	0	2	4,0	0,0
	Ваттметр	Э – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Варметр	Д – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Счетчик W	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	7	0,14	0,0
	Счетчик V	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	7	0,14	0,0
Итого:								10,3	0,0

Намечаем к установке на стороне ВН трансформатора ГПП трансформатор напряжения НКФ-110-83У1.

Намечаем к установке на стороне НН трансформатора ГПП трансформатор напряжения НТМИ-10-66У3



В таблицу 3.8 занесены параметры трансформаторов напряжения.

Таблица 3.8 – Параметры трансформаторов напряжения [25, стр. 326, табл. 5.13]

№	Параметр	Значение	
1	Тип	ЗНОМ	НТМИ
2	Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ , кВ	110	10
3	Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$ , В·А	400	120
4	Класс точности	0,5	0,5
5	Климатическое исполнение	У1	У3

а) Проверка трансформаторов напряжения на стороне ВН трансформатора.

– по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$

$$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ};$$

– проверка трансформатора напряжения по вторичной нагрузке  $S_2 \leq S_{\text{ном}}$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{19,0^2 + 0^2} = 19,0 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{ном}} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напряжения проходит по результатам проверок.

б) Проверка трансформаторов напряжения на стороне НН трансформатора.

– по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$

$$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ};$$

– проверка трансформатора напряжения по вторичной нагрузке  $S_2 \leq S_{\text{ном}}$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10,2^2 + 0^2} = 10,2 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{ном}} = 120 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напряжения пригоден к эксплуатации по результатам проверок.

Выбираем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил  $q = 4 \text{ мм}^2$  по условию механической прочности [18, стр. 375] для соединения трансформаторов напряжения с приборами.

### 3.2.4 Выбор ограничителя перенапряжения

Так как неизвестны все параметры рассматриваемой сети, то примем ограничитель по напряжению установки.

Принимаем к установке ограничитель напряжения марки ОПН-110.

– проверка ограничителя по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 110 \text{ кВ};$$

$$U_{ном} = 110 \text{ кВ}.$$

Проверка выполняется.

### 3.2.5 Выбор трансформаторов собственных нужд

Состав собственных нужд подстанций зависит от типа подстанции, мощности трансформаторов, типа электрооборудования.

На подстанции имеются следующие нагрузки собственных нужд [18, стр. 640, табл. П.6.2]:

– подогрев выключателей ОРУ

$$P_{\text{выкл}\Sigma} = n_{\text{выкл}} \cdot P_{\text{выкл}} = 2 \cdot 4,4 = 8,8 \text{ кВт}.$$

– подогрев шкафов

$$P_{\text{шк}\Sigma} = n_{\text{шк}} \cdot P_{\text{шк}} = 22 \cdot 1,0 = 22,0 \text{ кВт}.$$

– отопление, освещение, вентиляция ЗРУ

$$P_{\text{о.ЗРУ}} = 20,0 \text{ кВт}.$$

– освещение ОРУ

$$P_{\text{о.ОРУ}} = 5,0 \text{ кВт}.$$

Установленная мощность нагрузки собственных нужд

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{выкл}\Sigma} + P_{\text{шк}\Sigma} + P_{\text{о.ЗРУ}} + P_{\text{о.ОРУ}} = 8,8 + 22,0 + 20,0 + 5,0 = 55,8 \text{ кВт}.$$

Мощность трансформатора собственных нужд

$$S_{\text{тр}} \geq P_{\text{расч}} = k_c \cdot P_{\text{уст}} = 0,8 \cdot 55,8 = 44,6 \text{ кВт},$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса [18, стр. 475].

Принимаем к установке два трансформатора типа ТСН-63.

### 3.3 Разработка схемы закрытого распределительного устройства

РУ 10кВ включает в себя ряд ячеек комплектного распределительного устройства (КРУ), объединение которых осуществляется по средствам подключения их к общей шине. Для ячеек предусмотрено модельное здание, в зале которого и расположены все ячейки. Количество подключаемых к КРУ приемников напрямую оказывает влияние на количество ячеек, которое требуется установить. К подключениям могут относиться не только потребители, вспомогательное оборудование и трансформаторы напряжения, но и устройства компенсации мощности, а также секционные и вводные аппараты.

По правилам устройства электроустановок (ПУЭ) необходимо чтобы потребители II категории получали питание электрической энергией от двух независимых источников питания. Данный пункт правил объясняет необходимость наличия двух секций шин в системе снабжения предприятия. Каждая секция предусматривает наличие ячейки с выключателем, через которую осуществляется подключение к питающему трансформатору. Секционный выключатель устанавливается на первой секции шин, а на второй секции ячейка с одним разъединителем.

Для подключения потребителей устанавливаются ячейки с выключателями по количеству присоединений к каждой шине.

Для подключения УКРМ выделяется по ячейке с выключателем на каждую секцию.

Для подключения трансформаторов напряжения выделяется по ячейке с разъединителем, разрядником и предохранителем на каждую секцию.

Собственные нужды подстанции удовлетворяются посредством трансформаторов собственных нужд, подключенных по одному на каждую секцию через ячейку с выключателем.

Пониженное напряжение с питающих трансформаторов передается по жестким шинам через проходные изоляторы, расположенные в стене здания, на вводные выключатели, подключенные к секциям шин распределительного устройства. Камеры одностороннего обслуживания (ячейки), располагаются

рядами вдоль стен здания. На торцевой стене размещаются шкафы собственных нужд. Здание оборудовано двумя выходами.

Количество, состав и назначение ячеек КРУН приведено на рисунке 3.2.

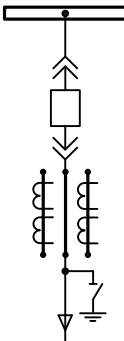
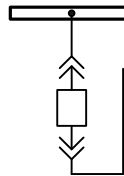
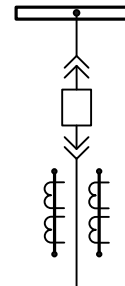
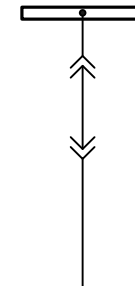
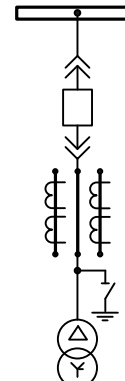
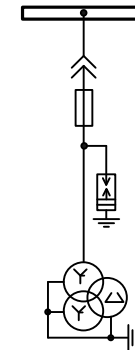
Порядковый номер ячейки в КРУ		2-9, 16-23	10, 15	12	13	1, 24	11, 14
Номинальное напряжение, кВ	10						
Номинальный ток сборных шин, А	1600						
Вид оперативного тока, значение, В	пост., 220						
Схема главных цепей							
Назначение ячейки		Линия, резерв	Ввод	Секционный выключатель	Секционный выключатель	ТСН	ТН
ТСН мощность, кВА		—	—	—	—	63	—
ТТ класс точности		0,5	—	0,5	—	0,5	—
ТН класс точности		—	—	—	—	—	0,5
Ток плавкой вставки предохранителя		—	—	—	—	—	5
Тип выключателя		ВЭ-10-20/630	ВЭ-10-20/630	ВЭ-10-20/1600	—	ВЭ-10-20/630	—
Учет электрической энергии (да/нет)		да	да	нет	нет	да	нет
Релейная защита		да	да	нет	нет	да	нет
Количество ячеек КРУ		16	2	1	1	2	2

Рисунок 3.2 – Ячейки КРУ

## **4 Электроснабжение промышленных потребителей в здании цеха телефонных кабелей.**

При снабжении потребителей электроэнергией стараются придерживаться определенного порядка действий.

На первом этапе осуществляют расчет электрических нагрузок и распределение приемников по ПР.

Производственная среда предприятия и местные условия вблизи него оказывают не малое влияние на выбор и способ прокладки электросети.

Решение вопросов первого этапа позволяет осуществить подбор защитных аппаратов и выбрать подходящие сечения проводников.

На следующем этапе производится построение эпюры отклонения напряжения, из расчета питающей и распределительной сети по условиям допустимых потерь  $U$ . Расчет линий ведется для максимального и минимального режима нагрузок, если начальной точкой считать шины ГПП, конечной – зажимы наиболее мощного и удаленного ЭП, а послеаварийный режим рассматривается для случая с двухтрансформаторной ПС.

Конечным этапом служит определение значений токов КЗ, которые указываются в карте селективности действия аппаратов защиты, для участка цеховой сети от трансформаторной подстанции до наиболее мощного ЭП цеха.

### **4.1 Распределение электроприёмников цеха по пунктам питания**

Распределение приемников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к распределительному пункту. Рекомендуется оставлять в резерв одну-две группы, чтобы в случае установки нового оборудования не было проблем с его подключением.

Цех имеет нормальную среду, но в цехе много различного технологического оборудования. Электроприемники и распределительные пункты запитываются по радиальным линиям, проложенным в коробах и на лотках. Большая часть линий располагается в кабельном полуэтаже.

На рисунке 4.1 изображен план цеха с расположением распределительных пунктов и питаемых от них электроприемников. Система с радиальной схемой питания приемников обеспечивает их надежную работу. Данная схема по технологическим условиям универсальности подключения новых приемников является достаточно гибкой. Для снабжения проектируемого цеха примем распределительные пункты марки ПР11-7123. Такие пункты позволяют осуществить до двенадцати подключений.

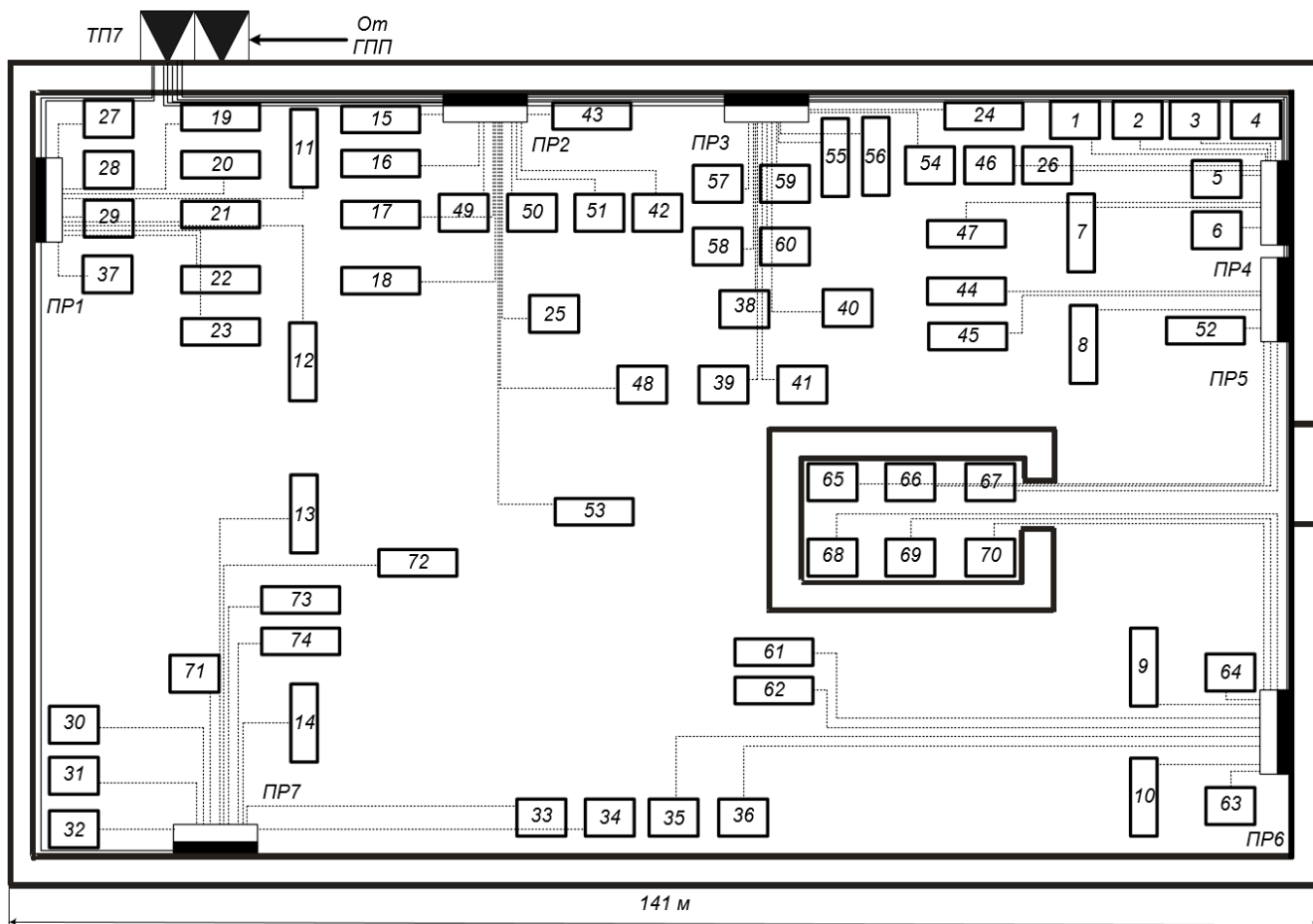


Рисунок 4.1 – План силовой и распределительной сети цеха



## 4.2 Расчет электрических нагрузок производственного помещения

Перед определением расчетной нагрузки цеха необходимо определить номинальные параметры электроприемников. Примеры расчета номинальных и пусковых токов электроприемников

Кран-балка

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,50 \cdot 0,89} = 15,4 \text{ A},$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}} = 5 \cdot 30,7 = 153,7 \text{ A},$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная активная мощность электроприёмника, кВт;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение электроприемника, кВ;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности;

$\eta$  – КПД электроприёмника;

$K_{\text{пуск}}$  – кратность пускового тока.

Определение номинальных параметров электроприемников сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение приемников по пунктам питания

Наименование оборудования	n, шт	P <sub>ном</sub> , кВт	k <sub>исп</sub>	cosφ	tgφ	η	K <sub>пуск</sub>	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>пуск</sub> , А
ПР1 ПР11-7123									
Вентилятор	3	15	0,75	0,85	0,62	0,89	7	30,1	210,9
Кабельный барабан моторный	5	39	0,7	0,8	0,75	0,89	5	83,2	416,1
Кран-балка ПВ = 25 %	2	4,5	0,06	0,5	1,73	0,89	5	15,4	76,8
Компрессор	1	10	0,1	0,5	1,73	0,89	5	34,1	170,7
ПР2 ПР11-7123									
Кабельный барабан моторный	4	39	0,7	0,8	0,75	0,89	5	83,2	416,1
Насос	4	8,5	0,7	0,85	0,62	0,89	5	88	440,0
Пресс	1	15	0,17	0,65	1,17	0,89	5	42	210,0
Испытательная станция	1	24	0,4	0,87	0,57	0,89	5	23,6	118,0
Линия скрутки	1	6,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	57,8	289,0
Линия скрутки	1	5,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	49,9	249,5
ПР3 ПР11-7123									
Кромкообрезной станок	8	19	0,16	0,65	1,17	0,89	5	49,9	249,5
Перемоточный станок	3	17	0,16	0,65	1,17	0,89	5	44,6	223,2
Испытательная станция	1	24	0,4	0,87	0,57	0,89	5	47,1	235,5
ПР4 ПР11-7123									
Вентилятор	6	19	0,75	0,85	0,62	0,89	7	38,2	267,1
Пресс	1	21	0,17	0,65	1,17	0,89	5	55,2	275,8
Кромкообрезной станок	2	19	0,16	0,65	1,17	0,89	5	49,9	249,5
Кран-балка ПВ = 25 %	1	4,5	0,06	0,5	1,73	0,89	5	15,4	76,8
ПР5 ПР11-7123									
Линия грубого волочения	2	48	0,16	0,65	1,17	0,89	5	126,1	630,3
Кран-балка ПВ = 25 %	1	4,5	0,06	0,5	1,73	0,89	5	15,4	76,8
Насос	1	8,5	0,7	0,85	0,62	0,89	5	17,1	85,4
Фрезерный станок	3	19	0,16	0,65	1,17	0,89	5	49,9	249,5
ПР6 ПР11-7123									
Строгальный станок	3	21	0,16	0,65	1,17	0,89	5	55,2	275,8
Горизонтально-изолировочная машина	2	48	0,16	0,65	1,17	0,89	5	126,1	630,3
Шланговая линия	2	9	0,16	0,65	1,17	0,89	5	23,6	118,2
Кран-балка ПВ = 25 %	2	4,5	0,06	0,5	1,73	0,89	5	15,4	76,8
Вентилятор	2	15	0,75	0,85	0,62	0,89	7	30,1	210,9
ПР7 ПР11-7123									
Вентилятор	5	15	0,75	0,85	0,62	0,89	7	30,1	210,9
Кран-балка ПВ = 25 %	2	4,5	0,06	0,5	1,73	0,89	5	15,4	76,8
Машина грубого волочения	1	144	0,16	0,65	1,17	0,89	5	378,2	1891,0
Линия бронирования	1	48	0,16	0,65	1,17	0,89	5	126,1	630,3
Линия изолирования	1	42	0,16	0,65	1,17	0,89	5	110,3	551,5
Машина волочения стальной проволоки	1	145	0,16	0,65	1,17	0,89	5	380,8	1904,1

Пример расчета для распределительного пункта ПР5.

Суммарная номинальная мощность электроприемников группы «А»

$$P_{\text{НОМ.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} = 153,0 + 9,0 = 162,0 \text{ кВт.}$$

Средняя активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену на примере станков

$$P_{\text{СМ}} = K_u \cdot P_{\text{НОМ.}\Sigma} = 0,16 \cdot 153,0 = 24,5 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{СМ}} = P_{\text{СМ}} \cdot \text{tg}\varphi = 24,5 \cdot 1,17 = 29,6 \text{ кВАр.}$$

Итог по среднесменной активной и реактивной нагрузке для группы "А"

$$P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{СМ.}i} = 24,5 + 0,5 = 25,0 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{СМ}}^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{СМ.}i} = 28,6 + 0,9 = 29,6 \text{ кВАр.}$$

Диапазон величины модуля силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.}\max}}{P_{\text{НОМ.}\min}} = \frac{48,0}{9,0} = 5,3 > 3.$$

Средневзвешенный коэффициент использования по группе

$$K_{u.\text{ср}} = \frac{P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}}}{P_{\text{НОМ.}\Sigma}} = \frac{25,0}{162,0} = 0,15.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{СМ}}^{\text{"А"}}}{P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}}} = \frac{29,6}{25,0} = 1,18.$$

Эффективное число электроприемников  $n_3$

$$n_3 = \frac{[P_{\text{НОМ.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{НОМ}}^2} = \frac{162,0^2}{5844,3} = 4,49 \text{ шт,}$$

принимаем  $n_3 = 4$  шт.

Коэффициенты максимума активной и реактивной мощности

$$K_M = 3,11$$

$$K'_M = 1,1.$$

Расчетная активная и реактивная мощности для группы "А"

$$P_p^{\text{"А"}} = K_M \cdot P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}} = 3,11 \cdot 25,0 = 77,8 \text{ кВт,}$$

$$Q_p^{''A''} = K'_M \cdot Q_{CM}^{''A''} = 1,1 \cdot 29,6 = 32,5 \text{ кВт.}$$

В группе "Б" расчетные активная и реактивная мощности рассчитываются по суммарной номинальной мощности приемников группы

$$P_p^{''B''} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i}^{''B''} = 8,5 \text{ кВт}, \quad Q_p^{''B''} = \sum_{i=1}^n (P_{\text{НОМ.}i}^{''B''} \cdot \text{tg}\varphi_i) = 5,3 \text{ кВАр.}$$

Расчетная активная, реактивная и полная мощности пункта

$$P_p = P_p^{''A''} + P_p^{''B''} = 77,8 + 8,5 = 86,3 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_p^{''A''} + Q_p^{''B''} = 32,5 + 5,3 = 37,8 \text{ кВАр,}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{86,3^2 + 37,8^2} = 94,1 \text{ кВА.}$$

Расчётный тока пункта

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{94,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 143,2 \text{ А.}$$

Определение пикового тока пункта

Номинальный и пусковой токи самого мощного электроприемника пункта

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = 72,9 \text{ А,} \quad I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = 364,6 \text{ А.}$$

Пиковый ток пункта

$$I_{\text{пик.л}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_p - K_{u.\text{max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = 364,6 + (143,2 - 0,16 \cdot 72,9) = 496,1 \text{ А.}$$

Дальнейший расчет электрических нагрузок по пунктам питания сведем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Определение расчетных нагрузок цеха по пунктам питания

Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП, п	Установленная мощность		$m = P_{\text{ном. max}} / P_{\text{ном. min}}$	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников $n_{\text{э}}$	Коэффициент максимума $K_{\text{м}}$	Расчетная нагрузка			$I_{\text{р}}, \text{А}$	$I_{\text{пик}}, \text{А}$
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$\Sigma P_{\text{ном}}, \text{кВт}$					$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi, \text{кВАр}$			$P_{\text{р}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{см}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р}} = (1 \div 1,1) \cdot Q_{\text{см}}, \text{кВАр}$	$S_{\text{р}} = \sqrt{(P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2)}, \text{кВА}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пункт распределительный ПР-1																
Электроприемники группы "А" $K_{\text{и}} < 0,6$																
1 Кран-балки ПВ = 25 %	2	9 ÷ 9	18,0		0,06	0,50	1,73	1,1	1,9							
2 Компрессор	1	10 ÷ 10	10,0		0,10	0,50	1,73	1,0	1,7							
Итого по группе "А"	3	9 ÷ 10	28,0		0,07	0,50	1,73	2,1	3,6			28,0	48,4	56,0		
3 Кабельные барабаны моторный	5	39 ÷ 39	195,0		0,70	0,80	0,75	136,5	102,4							
4 Вентиляторы	3	15 ÷ 15	45,0		0,75	0,85	0,62	33,8	20,9							
Итого по группе "Б"	8	15 ÷ 39	240,0		0,71	0,81	0,72	170,3	123,3			240,0	173,8	296,3		
Итого по ПР-1	11	9 ÷ 39	268,0		0,64	0,81	0,74	172,3	126,9			268,0	222,3	348,2	529,0	658,2
Пункт распределительный ПР-2																
Электроприемники группы "А" $K_{\text{и}} < 0,6$																
1 Испытательная станция	1	24 ÷ 24	24,0		0,40	0,87	0,57	9,6	5,5							
2 Пресс	1	15 ÷ 15	15,0		0,17	0,65	1,17	2,6	3,0							
3 Станки разные	2	5,5 ÷ 6,5	12,0		0,10	0,5	1,73	1,2	2,1							
Итого по группе "А"	4	5,5 ÷ 24	51,0	>3	0,26	0,79	0,79	13,4	10,5	2		45,9	34,4	57,4		
Электроприемники группы "Б" $K_{\text{и}} \geq 0,6$																

4 Кабельные барабаны моторные	4	39 ÷ 39	156,0		0,80	0,95	0,33	124,8	41,2							
5 Насосы	4	8,5 ÷ 8,5	34,0		0,70	0,85	0,62	6,8	4,2							
Итого по группе "Б"	8	8,5 ÷ 39	190,0		0,69	0,95	0,34	131,6	45,4			131,6	45,4	139,2		
Итого по ПР-2	102	5,5 ÷ 39	241,0		0,60	0,93	0,39	145,0	55,9			177,5	79,8	194,6	295,7	544,6
Пункт распределительный ПР-3																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	11	17 ÷ 19	203,0		0,16	0,65	1,17	32,5	38,0							
2 Испытательная станция	1	24 ÷ 24	24,0		0,40	0,87	0,57	9,6	5,5							
Итого по группе "А"	12	17 ÷ 24	227,0	<3	0,19	0,70	1,03	42,1	43,5	8	1,99	83,7	47,8	96,4		
Итого по ПР-3	12	17 ÷ 24	227,0		0,19	0,70	1,03	42,1	43,5			83,7	47,8	96,4	146,5	314,2
Пункт распределительный ПР-4																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	2	19 ÷ 19	38,0		0,16	0,65	1,17	6,1	7,1							
2 Кран-балка ПВ = 25 %	1	9 ÷ 9	9,0		0,06	0,5	1,73	0,5	0,9							
3 Прессы	1	21 ÷ 21	21,0		0,17	0,65	1,17	4,5	5,3							
Итого по группе "А"	4	9 ÷ 21	68,0	<3	0,16	0,64	1,20	11,1	13,3	4	3,10	34,5	14,7	37,5		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
4 Вентиляторы	6	19 ÷ 19	114,0		0,75	0,85	0,62	85,5	53,0							
Итого по группе "Б"	6	19 ÷ 19	114,0		0,75	0,85	0,62	85,5	53,0			85,5	53,0	100,6		
Итого по ПР-4	10	9 ÷ 21	182,0		0,53	0,82	0,69	96,6	66,4			120,0	67,7	137,8	209,3	363,4
Пункт распределительный ПР-5																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	5	19 ÷ 48	153,0		0,16	0,65	1,17	24,5	28,6							
2 Кран-балка ПВ = 25 %	1	9 ÷ 9	9,0		0,06	0,5	1,73	0,5	0,9							
Итого по группе "А"	6	9 ÷ 48	162,0	>3	0,15	0,65	1,18	25,0	29,6	4	3,11	77,8	32,5	84,3		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
3 Насос	1	8,5 ÷ 8,5	8,5		0,70	0,85	0,62	6,0	3,7							

Итого по группе "Б"	1	8,5 ÷ 8,5	8,5		0,70	0,85	0,62	6,0	3,7			8,5	5,3	10,0		
Итого по ПР-5	7	8,5 ÷ 48	170,5		0,18	0,68	1,07	31,0	33,3			86,3	37,8	94,2	143,2	496,1
Пункт распределительный ПР-6																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	7	9 ÷ 48	177		0,16	0,65	1,17	28,3	33,1							
2 Кран-балки ПВ = 25 %	2	9 ÷ 9	18		0,06	0,5	1,73	1,1	1,9							
Итого по группе "А"	9	9 ÷ 48	186	>3	0,16	0,64	1,19	29,4	35,0	5	2,85	83,8	38,5	92,2		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
3 Вентиляторы	2	15 15	30		0,75	0,85	0,62	22,5	14,0							
Итого по группе "Б"	2	15 ÷ 15	30		0,75	0,85	0,62	22,5	14,0			22,5	14,0	26,5		
Итого по ПР-6	11	8 ÷ 55	216		0,24	0,73	0,94	51,9	49,0			106,3	52,5	118,5	180,1	533,1
Пункт распределительный ПР-7																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	4	42 ÷ 145	379		0,16	0,65	1,17	60,6	70,9							
2 Кран-балки ПВ = 25 %	2	9 ÷ 9	18		0,06	0,5	1,73	1,1	1,9							
Итого по группе "А"	6	9 ÷ 145	397	>3	0,16	0,65	1,18	61,7	72,8	3	3,08	190,1	80,1	206,3		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
3 Вентиляторы	5	15 ÷ 15	75		0,75	0,85	0,62	56,3	34,9							
Итого по группе "Б"	5	15 ÷ 15	75		0,75	0,85	0,62	56,3	34,9			56,3	34,9	66,2		
Итого по ПР-7	11	9 ÷ 145	472		0,25	0,74	0,91	118,0	107,7			246,3	115,0	271,9	413,0	1479,3
Итого силовая нагрузка	74	5,5 ÷ 145	1759,5		0,37	0,81	0,73	656,8	482,6			1088,2	622,8	1253,8		
Электрическое освещение			51,84	$K_{co} =$	0,95	0,90	0,48	49,2	23,6			49,2	23,6	54,6	82,9	
Итого по цеху	37	6,0 ÷ 55,0	1811,34		0,39	0,81	0,72	706,1	506,2			1137,4	646,5	1308,4	1987,7	3054,0

### 4.3 Выбор группы защитных эпюры аппаратов током и проводников

током В цеховой сети не редко может возникнуть режим, связанный с увеличением тока до ненормальных показателей:

- Значение тока увеличивается вследствие перегрузок;
- Ток возрастает в момент пуска двигателей;
- Вследствие короткого замыкания в сети ток увеличивается.

Защита производится автоматическими выключателями. Выбор сечений питающей линий производится по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева. Линии, питающие распределительные пункты, проверяются по допустимой потере напряжения. Сечения кабелей согласовываются с действием аппаратов защиты.

Условия выбора выключателей [4, стр. 182]:

1. По нагреву расчетным током нагрузки:  $I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{ном.расц}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{дл}}$ ;

2. По условию перегрузки пусковым током:

$I_{\text{кз}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}}$  – для одного ЭП;

$I_{\text{кз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}$  – для группы ЭП;

$I_{\text{кз}} \geq K \cdot I_{\text{ном.расц}}$  – для группы ЭП ( $K = I_{\text{кз}}/I_{\text{ном.расц}}$ ),

где  $I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}}$  – для одного ЭП;

$I_{\text{дл}} = I_{\text{р}}$  – для группы ЭП;

$I_{\text{ном.ав}}$  – номинальный ток автомата;

$I_{\text{ном.расц}}$  – номинальный ток расцепителя;

$I_{\text{р}}$  – расчетный ток группы ЭП;

$K$  – кратность отсечки;

$I_{\text{пик}}$  – пиковый ток;

$I_{\text{мах.пуск}}$  – пусковой ток двигателя (или трансформатора) наибольшей мощности в данной группе ЭП;

$I_{\text{мах.ном}}$  – номинальный ток двигателя (или трансформатора) наибольшей мощности в данной группе ЭП;

$I_{\text{кз}}$  – номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ.



Условие выбора проводников [4, стр. 184]:

1. По нагреву расчетным током нагрузки:  $I_{\text{доп}} \geq I_p / K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}$ ;
2. Согласование с аппаратом защиты:  $I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_3 / K_{\text{п1}}$ ;
3. По допустимой потере напряжения:  $\Delta U_{\text{p}\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l$ ,

где  $K_{\text{п1}}$   $K_{\text{п2}}$  – поправочные коэффициенты на условие прокладки;

$K_3$  – кратность защиты (отношение длительно допустимого тока для кабеля к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата при перегрузке или КЗ);

$I_3$  – номинальный ток или ток уставки срабатывания защитного аппарата;

$\Delta U_0$  – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В;

$I_p$  – расчетный ток линии;

$l$  – длина рассматриваемой линии.

Для дальнейшего расчета необходимо определиться с типом системы заземления нейтралей и открытых проводящих частей оборудования.

Ни один из существующих способов заземления нейтралей и открытых проводящих частей не является универсальным. В качестве общих рекомендаций предлагается [27, стр. 16]:

- сети TN-C и TN-C-S обладают низким уровнем электро- и пожаробезопасности, а так же возможностью значительных электромагнитных излучений;
- сети TN-S рекомендуются для статичных установок, не подверженных изменениям;
- сети TT необходимо использовать для временных, расширяемых и изменяемых электроустановок;
- сети IT необходимы в тех случаях, когда бесперебойность электроснабжения является крайне необходимой.

Так как в рассматриваемом цехе телефонных кабелей не предполагается перемещение электроприемников и внесение серьёзных изменений в систему электроснабжения, то согласно рекомендациям применим систему заземления TN-S. Данная система надежна и безопасна, максимально осуществляет защиту электрооборудования и человека от поражения электрическим током. Данная система не требует контроля за состоянием контура заземления.

Недостатком системы является удорожание схемы электроснабжения, за счет применения пятипроводных кабельных линий.

Примеры выбора аппаратуры и кабелей.

а) Выбор отходящего автоматического выключателя подстанции

Расчетный ток нагрузки подстанции

$$I_{p.ПС} = \frac{S_{p.ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1484,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2255,8 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформатора подстанции

$$I_{ном.тр} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1519,3 \text{ А.}$$

Максимальный рабочий ток трансформатора подстанции

$$I_{max.раб} = 1,4 \cdot I_{ном.тр} = 1,4 \cdot 1519,3 = 2127,1 \text{ А.}$$

Пиковый ток подстанции

$$\begin{aligned} I_{пик.ПС} &= I_{пуск}^{max} + (I_{max.раб} - K_{u.max} \cdot I_{ном}^{max}) = \\ &= 1101,5 + (2127,1 - 0,16 \cdot 220,3) = 3193,4 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74–45 с параметрами  $I_{ном.ав} = 3000 \text{ А}$ ,  $I_{тепл} = 2500 \text{ А}$  [10, стр. 87-88].

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{тепл} = 2500 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{max.раб} = 1,1 \cdot 2127,1 = 2339,8 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{пик.ПС} = 1,25 \cdot 3193,4 = 3991,8 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{пик.ПС}}{I_{тепл}} = \frac{3991,8}{2500} = 1,6,$$

принимаем  $K = 4,0$ .

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{э.о} = K \cdot I_{тепл} = 4,0 \cdot 2500 = 10000 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{пик.ПС} = 3991,8 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

б) Выбор секционного автоматического выключателя подстанции

Максимальный рабочий ток трансформатора

$$I_{max.раб} = 2127,1 \text{ А.}$$

Расчетный ток секционного выключателя

$$I_{p.CB} = 0,7 \cdot I_{\max.раб} = 0,7 \cdot 2127,1 = 1489,0 \text{ А.}$$

Пиковый ток сборных шин

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.СШ}} &= I_{\text{пуск}}^{\max} + (I_{p.CB} - K_{u.\max} \cdot I_{\text{ном}}^{\max}) = \\ &= 1101,5 + (1489,0 - 0,16 \cdot 220,3) = 2555,3 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74-45 с параметрами  $I_{\text{ном.ав}} = 3000 \text{ А}$ ,  
 $I_{\text{тепл}} = 3000 \text{ А}$ .

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 2000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{p.CB} = 1,1 \cdot 1489,0 = 1637,9 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 2555,3 = 3194,1 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{3194,1}{3000} = 1,06,$$

принимаем  $K = 3,0$ .

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 3,0 \cdot 3000 = 9000,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 3194,1 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит проверку и пригоден к эксплуатации.

в) Участок ТП – ПР1

Определение расчетного и пикового ток нагрузки ПР1

$$I_p = 529,0 \text{ А}, \quad I_{\text{пик}} = 658,2 \text{ А.}$$

Выбираем автомат марки ВА74–40 с параметрами  $I_{\text{ном.ав}} = 800 \text{ А}$ ,  $I_{\text{тепл}} = 625 \text{ А}$ .

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 625 \text{ А} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 529,0 = 581,9 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 658,2 = 822,8 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{822,8}{625} = 1,3,$$

принимаем  $K = 4,0$ .

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{э.0} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 4,0 \cdot 625 = 2500,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 822,8 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит проверку и пригоден к эксплуатации.

Намечаем выбор кабеля марки ВВГнг-LS – 2(5×185) с  $I_{\text{доп}} = 680 \text{ A}$  [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 680 \text{ A} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{529,0}{1,0 \cdot 1,0} = 529,0 \text{ A}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 680 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1,25 \cdot 529,0}{1,0} = 661,3 \text{ A},$$

где  $I_3$  – ток уставки срабатывания защитного аппарата, А;

$K_{\text{п1}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий фактическую температуру окружающей среды [1, стр. 185, табл. 9.1];

$K_{\text{п2}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий количество совместных проложенных линий [1, стр. 185, табл. 9.2; стр. 186, табл. 9.3];

$k_3$  – кратность защиты то [1, стр. 187, табл. 9.4].

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{\text{p}\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,057 \cdot 529,0 \cdot 0,021 = 2,31\% < 5\%,$$

где  $l$  – длина рассматриваемой линии с учетом непрямолинейной прокладки кабеля (обрезка, обход конструкций и оборудования...), км;

10% – допустимое значение потерь напряжения;

$\Delta U_0$  – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В [10, стр. 91, табл. П.2.11], %/(А·км).

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

г) Участок ПР1 – Вентилятор

Определение номинального и пускового ток нагрузки

$$I_{\text{ном}} = 30,1 \text{ A}, \quad I_{\text{пуск}} = 210,9 \text{ A}.$$

Выбираем автомат марки ВА57–35 с параметрами  $I_{\text{ном.ав}} = 250 \text{ A}$ ,  $I_{\text{тепл}} = 40 \text{ A}$ .

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 40 \text{ A} > 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 30,1 = 33,1 \text{ A}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 210,9 = 316,4 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{316,4}{40} = 7,9,$$

принимаем  $K = 8$ .

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 8 \cdot 40 = 320,0 \text{ А} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 316,4 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Выбираем кабель марки АВВГнг-LS – 1(5×10) с  $I_{\text{доп}} = 45 \text{ А}$ .

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 45 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{30,1}{1,0 \cdot 0,85} = 35,4 \text{ А.}$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 45 \text{ А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1,0 \cdot 40}{1,0} = 40,0 \text{ А.}$$

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

Остальные расчёты по выбору аппаратов защиты и кабельных линий для всех распределительных пунктов и электроприемников сведём в таблицы 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3 – Выбор аппаратов защиты и проводников питающей сети

Участок	$\frac{I_p}{I_{пик} \cdot A}$	$1,1 \cdot I_p, A$	$1,25 \cdot I_{пик}, A$	Автомат			Способ прокладки	$K_{п1}$	$K_{п2}$	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2} \cdot A}$	$K_3$	$\frac{K_3 \cdot I_3}{K_{п1} \cdot A}$	Кабель		$L, км$	$\cos \varphi$	$\frac{\Delta U_0, \%}{A \cdot км}$	$\Delta U_p, \%$
				Тип	$K$	$\frac{I_{тепл}}{I_{э.о.} \cdot A}$							Марка	$I_{доп}, A$				
Отходящий выключатель ТП	$\frac{2127,1}{3193,4}$	2339,8	3991,8	ВА74-45	3,0	$\frac{3000}{9000}$	В коробе, на лотках	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Секционный выключатель ТП	$\frac{1489,0}{2555,3}$	1637,9	3194,1	ВА74-45	4,0	$\frac{2000}{8000}$		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ТП - ПР1	$\frac{529,0}{658,2}$	581,9	822,8	ВА74 – 40	4,0	$\frac{625}{2500}$		1,00	1,00	529,0	1,25	661,3	ВВГнг-LS - 2(5 × 185)	680	0,021	0,81	0,057	0,63
ТП - ПР2	$\frac{295,7}{544,6}$	325,3	680,8	ВА74 – 40	3,0	$\frac{500}{1500}$		1,00	1,00	295,7	1,25	369,6	ВВГнг-LS - 2(5 × 95)	430	0,034	0,93	0,094	0,94
ТП – ПР3	$\frac{146,5}{314,2}$	161,2	392,8	ВА74 – 40	4,0	$\frac{190}{760}$		1,00	1,00	146,5	1,25	183,1	ВВГнг-LS - 1(5 × 95)	215	0,064	0,70	0,088	0,83
ТП – ПР4	$\frac{209,3}{363,4}$	230,2	454,3	ВА74 – 40	4,0	$\frac{260}{1040}$		1,00	1,00	209,3	1,25	261,6	ВВГнг-LS - 1(5 × 185)	340	0,129	0,85	0,057	1,54
ТП – ПР5	$\frac{143,2}{496,1}$	157,5	620,1	ВА74 – 40	6,5	$\frac{190}{1235}$		1,00	1,00	143,2	1,25	179,0	ВВГнг-LS - 1(5 × 95)	215	0,140	0,68	0,088	1,76
ТП – ПР6	$\frac{180,1}{533,1}$	198,1	666,4	ВА74 – 40	5,0	$\frac{260}{1300}$		1,00	1,00	180,1	1,25	225,1	ВВГнг-LS - 1(5 × 120)	260	0,193	0,73	0,078	2,71
ТП – ПР7	$\frac{413,0}{1479,3}$	454,3	1849,1	ВА74 – 40	8,0	$\frac{500}{4000}$		1,00	1,00	413,0	1,25	516,3	ВВГнг-LS - 2(5 × 185)	680	0,111	0,74	0,058	2,66

Таблица 4.4 – Выбор аппаратов защиты и проводников электроприёмников

Приемник	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А	$1,1 \cdot I_{ном},$ А	$1,5 \cdot I_{пуск},$ А	Автомат				$K_{п1}$	$K_{п2}$	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}},$ А	$K_3$	$\frac{K_3 \cdot I_3}{K_{п1}},$ А	Кабель	
					Тип	К	$I_{тепл},$ А	$I_{э.о},$ А						Марка	$I_{доп},$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пункт распределительный ПР1															
Вентилятор	30,1	210,9	33,1	316,4	ВА57-35	8	40	320,0	1	0,85	35,4	1	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	45
Кабельный барабан моторный	83,2	416,1	91,5	624,2	ВА57-35	8	100	800,0	1	0,85	97,9	1	100,0	АВВГнг-LS –1(5 × 50)	110
Кран-балка ПВ = 25 %	30,7	153,6	33,8	230,4	ВА57-35	6	40	240,0	1	0,85	36,1	1	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	45
Компрессор	34,1	170,7	37,5	256,1	ВА57-35	8	40	320,0	1	0,85	40,1	1	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	45
Пункт распределительный ПР2															
Кабельный барабан моторный	83,2	416,1	91,5	624,2	ВА57-35	8	100	800,0	1	0,75	110,9	1	100,0	АВВГнг-LS –1(5 × 70)	140
Насос	88	440	96,8	660,0	ВА57-35	8	100	800,0	1	0,75	117,3	1	100,0	АВВГнг-LS –1(5 × 70)	140
Пресс	42	210	46,2	315,0	ВА57-35	8	50	400,0	1	0,75	56,0	1	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Испытательная станция	23,6	118	26,0	177,0	ВА57-35	6	31,5	189,0	1	0,75	31,5	1	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	45
Линия скрутки	57,8	289	63,6	433,5	ВА57-35	6	80	480,0	1	0,75	77,1	1	80,0	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	95
Линия скрутки	49,9	249,5	54,9	374,3	ВА57-35	6	63	378,0	1	0,75	66,5	1	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Пункт распределительный ПР3															
Кромкообрезной станок	49,9	249,5	54,9	374,3	ВА57-35	6	63	378,0	1	0,75	66,5	1	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Перемоточный станок	44,6	223,2	49,1	334,8	ВА57-35	8	50	400,0	1	0,75	59,5	1	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Испытательная станция	47,1	235,5	51,8	353,3	ВА57-35	6	63	378,0	1	0,75	62,8	1	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Пункт распределительный ПР4															
Вентилятор	38,2	267,1	42,0	400,7	ВА57-35	10	50	500,0	1	0,75	50,9	1	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Пресс	55,2	275,8	60,7	413,7	ВА57-35	8	63	504,0	1	0,75	73,6	1	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Кромкообрезной станок	49,9	249,5	54,9	374,3	ВА57-35	6	63	378,0	1	0,75	66,5	1	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	95
Кран-балка ПВ = 25 %	30,7	153,6	33,8	230,4	ВА57-35	6	40	240,0	1	0,75	40,9	1	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	45
Пункт распределительный ПР5															
Линия грубого волочения	126,1	630,3	138,7	945,5	ВА57-35	6	160	960,0	1	0,75	168,1	1	160,0	АВВГнг-LS –1(5 × 120)	200
Кран-балка ПВ = 25 %	30,7	153,6	33,8	230,4	ВА57-35	6	40	240,0	1	0,75	40,9	1	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	45

Насос	17,1	85,4	18,8	128,1	BA57-35	8	20	160,0	1	0,75	22,8	1	20,0	ABBГнг-LS –1(5 × 10)	45
Фрезерный станок	49,9	249,5	54,9	374,3	BA57-35	6	63	378,0	1	0,75	66,5	1	63,0	ABBГнг-LS –1(5 × 25)	75
<b>Пункт распределительный ПР6</b>															
Строгальный станок	55,2	275,8	60,7	413,7	BA57-35	8	63	504,0	1	0,75	73,6	1	63,0	ABBГнг-LS –1(5 × 25)	75
Горизонтально-изолировочная машина	126,1	630,3	138,7	945,5	BA57-35	6	160	960,0	1	0,75	168,1	1	160,0	ABBГнг-LS –1(5 × 120)	200
Шланговая линия	23,6	118,2	26,0	177,3	BA57-35	6	31,5	189,0	1	0,75	31,5	1	31,5	ABBГнг-LS –1(5 × 10)	45
Кран-балка ПВ = 25 %	30,7	153,6	33,8	230,4	BA57-35	6	40	240,0	1	0,75	40,9	1	40,0	ABBГнг-LS –1(5 × 10)	45
Вентилятор	30,1	210,9	33,1	316,4	BA57-35	8	40	320,0	1	0,75	40,1	1	40,0	ABBГнг-LS –1(5 × 10)	45
<b>Пункт распределительный ПР7</b>															
Вентилятор	30,1	210,9	33,1	316,4	BA57-35	8	40	320,0	1	0,75	40,1	1	40,0	ABBГнг-LS –1(5 × 10)	45
Кран-балка ПВ = 25 %	30,7	153,6	33,8	230,4	BA57-35	6	40	240,0	1	0,75	40,9	1	40,0	ABBГнг-LS –1(5 × 10)	45
Машина грубого волочения	378,2	1891	416,0	2836,5	BA74-40	6	500	3000,0	1	0,75	504,3	1	500,0	ABBГнг-LS –2(5 × 185)	520
Линия бронирования	126,1	630,3	138,7	945,5	BA57-35	6	160	960,0	1	0,75	168,1	1	160,0	ABBГнг-LS –1(5 × 120)	200
Линия изолирования	110,3	551,5	121,3	827,3	BA57-35	8	125	1000,0	1	0,75	147,1	1	125,0	ABBГнг-LS –1(5 × 95)	165
Машина волочения стальной проволоки	380,8	1904,1	418,9	2856,2	BA74-40	6	500	3000,0	1	0,75	507,7	1	500,0	ABBГнг-LS –2(5 × 185)	520



#### 4.4 Оценка установившегося отклонения напряжений

На шинах 10 кВ подстанции, с присоединёнными к ней распределительными сетями, напряжение должно поддерживаться не ниже 105% номинального в период наибольших нагрузок и не выше 100% номинального в период наименьших нагрузок этих сетей. В данном случае используется трансформатор без РПН, отстройка эюры напряжений будет произведена из точки +5%.

Рассмотрим цепочку ГПП – ТП7 – ПР1 – ЭП №27.

Расчетные данные приемника №27

$$P_{\text{ном}} = 15,0 \text{ кВт} \quad Q_{\text{ном}} = 9,3 \text{ кВАр}, \quad S_{\text{ном}} = 17,6 \text{ кВА}.$$

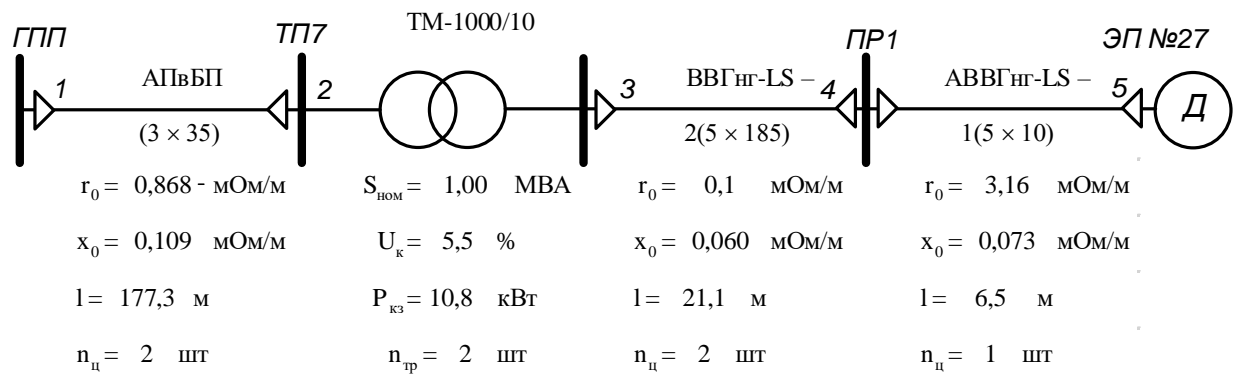


Рисунок 4.2 – Расчетная схема

Произведём расчёт максимального режима нагрузки:

Участок 1-2

Активное и реактивное сопротивление

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,868 \cdot 177,3}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0769 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,109 \cdot 177,3}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0097 \text{ Ом}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 1-2

$$P_{12} = \sum P_{\text{ц.ТП}} = 1267,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{12} = \sum Q_{ц.ТП} = 765,6 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 1-2

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{1267,5 \cdot 0,0769 + 765,6 \cdot 0,0097}{10 \cdot 10,5^2} = 0,095\%.$$

Потеря напряжения на участке 1-2 в именованных единицах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,095 \cdot \frac{10500}{100} = 10,0 \text{ В.}$$

Напряжение в конце участка 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 10,0 = 10490,0 \text{ В.}$$

Участок 2-3

Активная и реактивная составляющая значения напряжения короткого замыкания трансформатора

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{ном.тр}} = \frac{10,8 \cdot 100\%}{1000} = 1,08,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,08^2} = 5,393.$$

Коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta_T = \frac{S_{12}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{1480,8}{2 \cdot 1000} = 0,74.$$

Коэффициент мощности на участке 2-3

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{1267,5}{1480,8} = 0,86, \quad \sin \varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{765,6}{1480,8} = 0,52.$$

Потеря напряжения на участке 2-3

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) = \\ &= 0,74 \cdot (1,08 \cdot 0,86 + 5,393 \cdot 0,52) + \frac{0,74^2}{200} \cdot (1,08 \cdot 0,52 - 5,393 \cdot 0,86) = \\ &= 2,473 \%. \end{aligned}$$

Потеря напряжения на участке 2-3 в именованных единицах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 2,473 \cdot \frac{10490,0}{100} = 259,4 \text{ В.}$$

Напряжения в конце участка 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 10487,4 - 259,4 = 10228,0 \text{ В.}$$

Напряжения в конце участка 2-3 с учетом коэффициента трансформации

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{10228,0}{10500} = 389,6 \text{ В.}$$

Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление участка 3-4

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,1 \cdot 21,1}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0011 \text{ Ом,}$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 21,1}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0007 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 3-4

$$P_{34} = P_{\text{ПР}} = 268,0 \text{ кВт,} \quad Q_{34} = Q_{\text{ПР}} = 222,3 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 3-4

$$\Delta U_{34, \%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{268,0 \cdot 0,0011 + 222,3 \cdot 0,0007}{10 \cdot 0,390^2} = 0,28 \text{ \%}.$$

Потеря напряжения на участке 3-4 в именованных единицах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34, \%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,28 \cdot \frac{389,6}{100} = 1,07 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 3-4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 389,6 - 1,07 = 387,9 \text{ В.}$$

Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление участка 4-5

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{3,16 \cdot 6,5}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0205 \text{ Ом,}$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,073 \cdot 6,5}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0005 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 4-5

$$P_{45} = P_{\text{НОМ}} = 15,0 \text{ кВт,} \quad Q_{45} = Q_{\text{НОМ}} = 9,3 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 4-5

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{15,0 \cdot 0,0205 + 9,3 \cdot 0,0005}{10 \cdot 0,388^2} = 0,208\%.$$

Потеря напряжения на участке 4-5 в именованных единицах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,208 \cdot \frac{387,9}{100} = 0,81 \text{ В.}$$

Напряжение в конце участка 4-5

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 387,9 - 0,81 = 387,1 \text{ В.}$$

Для расчёта режима минимальной нагрузки необходимо по графикам нагрузки предприятия определить коэффициенты минимальной нагрузки по активной и реактивной мощности.

В послеаварийном режиме мы смоделируем выход из строя трансформатора в цеховой подстанции, что приводит к отключению одной из питающих эту ЦТП цепей.

Дальнейший расчет сведем в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Расчётные данные для построения эпюр отклонения напряжений

Максимальный режим нагрузки				
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5
$P_i$ , кВт	1267,5	1267,5	268,0	15,0
$Q_i$ , кВАр	765,6	765,6	222,3	9,3
$S_i$ , кВА	1480,8	1480,8	348,2	17,6
$R_i$ , Ом	0,0769	—	0,0011	0,0202
$X_i$ , Ом	0,0097	—	0,0007	0,0005
$\cos\varphi$	—	0,86	—	—
$\sin\varphi$	—	0,52	—	—
$\beta_T$	—	0,74	—	—
$U_a$ , %	—	1,08	—	—
$U_p$ , %	—	5,393	—	—
$\Delta U_i$ , %	0,095	2,473	0,28	0,204
$\Delta U_i$ , В	10,0	259,4	1,07	0,8
$U_i$ , В	10490,0	389,6	387,9	387,1

окончание таблицы 4.5

Минимальный режим нагрузки				
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5
$P_i$ , кВт	532,4	532,4	112,6	15,0
$Q_i$ , кВАр	490,0	490,0	142,3	9,3
$S_i$ , кВА	732,6	732,6	181,5	17,6
$R_i$ , Ом	0,0769	—	0,0011	0,0202
$X_i$ , Ом	0,0097	—	0,0007	0,0005
$\cos\varphi$	—	0,73	—	—
$\sin\varphi$	—	0,67	—	—
$\beta_T$	—	0,366	—	—
$U_a$ , %	—	1,08	—	—
$U_p$ , %	—	5,393	—	—
$\Delta U_i$ , %	0,046	1,609	0,144	0,199
$\Delta U_i$ , В	4,6	160,8	0,6	0,8
$U_i$ , В	9995,4	393,4	392,8	392,0
Послеаварийный режим нагрузки				
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5
$P_i$ , кВт	1267,5	1267,5	268,0	15,0
$Q_i$ , кВАр	765,6	765,6	222,3	9,3
$S_i$ , кВА	1480,8	1480,8	348,2	17,6
$R_i$ , Ом	0,1536	—	0,0011	0,0202
$X_i$ , Ом	0,0194	—	0,0007	0,0005
$\cos\varphi$	—	0,86	—	—
$\sin\varphi$	—	0,52	—	—
$\beta_T$	—	1,48	—	—
$U_a$ , %	—	1,08	—	—
$U_p$ , %	—	5,393	—	—
$\Delta U_i$ , %	0,190	5,375	0,316	0,217
$\Delta U_i$ , В	20,0	563,3	1,2	0,8
$U_i$ , В	10480,0	377,8	376,6	375,8

По результатам расчетов строим эпюры отклонения напряжений. Эпюры представлена на рисунке 4.3.

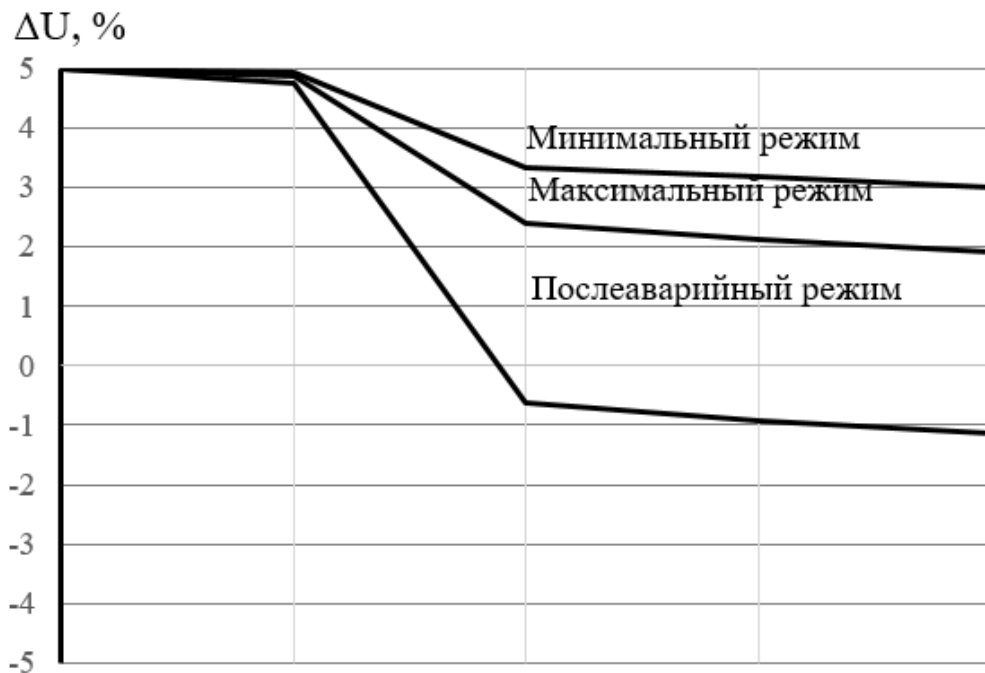
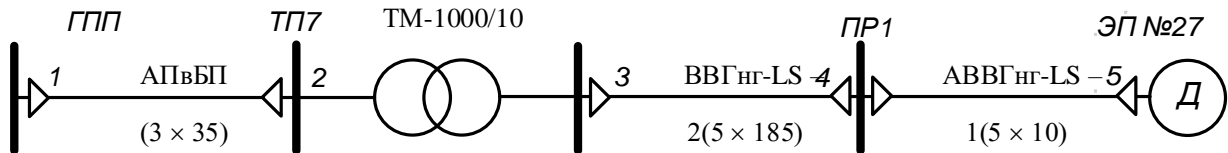


Рисунок 4.3 – Эпюры отклонения напряжений

Согласно эпюрам отклонения напряжений потеря напряжения в линиях находятся в пределах нормы, выбранные сечения пригодны для эксплуатации.

#### 4.5 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчёт токов КЗ в сетях напряжением до 1000 В отличается от расчётов в сетях с напряжением выше 1000 В следующими особенностями:

- напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ;
- расчёт производится в именованных единицах;
- напряжение принимаем на 5% выше номинального напряжения сети;
- учитываются активные и индуктивные сопротивления всех элементов сети.

Необходимо составить расчётную схему системы электроснабжения (рисунок 4.4) и схему замещения для расчёта токов короткого замыкания.

Расчет токов КЗ ведем для участка ТП1 – ПР1 – ЭП №27.

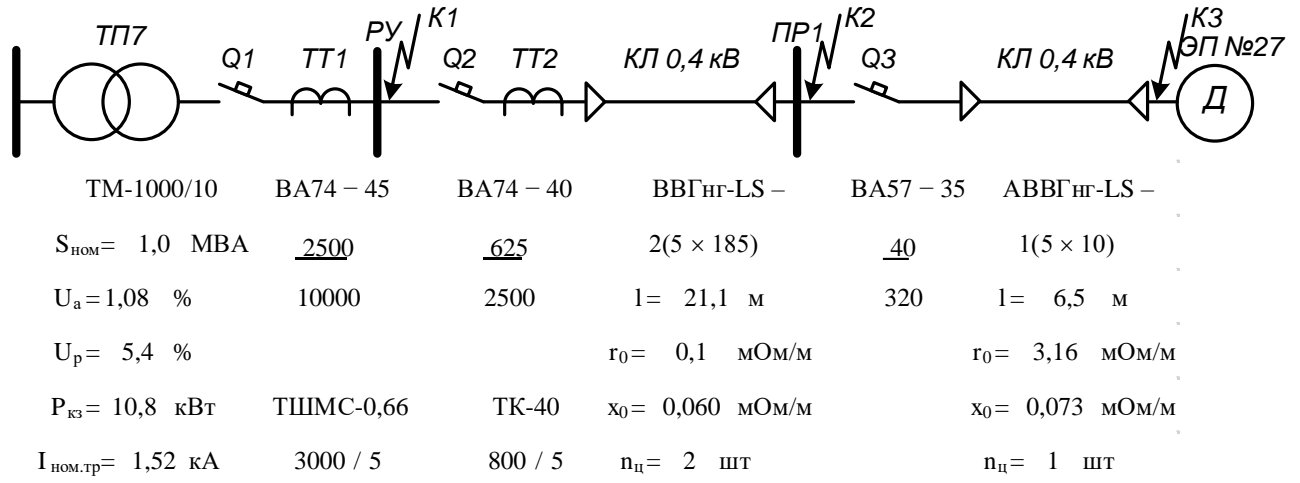


Рисунок 4.4 – Расчетная схема

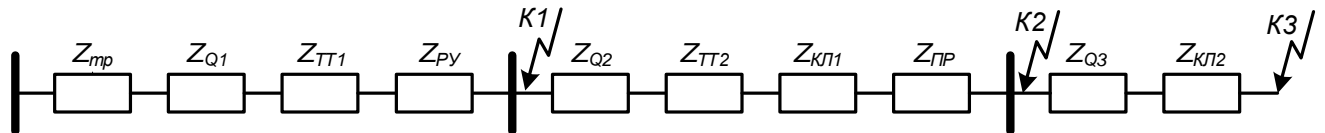


Рисунок 4.5 – Схема замещения

Сопротивления элементов.

Трансформаторы

$$R_{\text{тр}} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{1,08}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 1,73 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{5,393}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 8,63 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{тр}} = \sqrt{R_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{1,73^2 + 8,63^2} = 8,8 \text{ мОм}.$$

Сопротивления ступеней распределения складывается из переходного сопротивления распределительного устройства и переходного сопротивления неподвижных контактных соединений [1, стр. 243, табл. 7.2, стр. 244, табл. 7.4]

$$Z_{\text{ПУ}} = R_{\text{ПУ}} + R_{\text{н.к}} = 15,0 + 0,021 = 15,021 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{ПР}} = R_{\text{ПР}} + R_{\text{н.к}} = 20,0 + 0,085 = 20,085 \text{ мОм}.$$

Сопротивления автоматических выключателей складывается из сопротивлений расцепителя и переходного сопротивления контактов [1, стр. 244, табл. 7.3]

$$Z_{Q1} = \sqrt{(R_{\text{расц1}} + R_{\text{к1}})^2 + X_{\text{расц1}}^2} = \sqrt{(0,06 + 0,07)^2 + 0,07^2} = 0,15 \text{ мОм},$$

$$Z_{Q2} = \sqrt{(R_{\text{расц2}} + R_{\text{к2}})^2 + X_{\text{расц2}}^2} = \sqrt{(0,12 + 0,25)^2 + 0,13^2} = 0,39 \text{ мОм},$$

$$Z_{Q3} = \sqrt{(R_{\text{расц3}} + R_{\text{к3}})^2 + X_{\text{расц3}}^2} = \sqrt{(5,50 + 1,30)^2 + 4,50^2} = 8,15 \text{ мОм}.$$

Сопротивление трансформатора тока ТТ1 не учитываем, так как у него коэффициент трансформации больше 1000/5 [1, стр. 157, табл. 7.2]

$$Z_{\text{ТТ2}} = \sqrt{R_{\text{ТТ2}}^2 + X_{\text{ТТ2}}^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,02^2} = 0,05 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{\text{КЛ1}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,1 \cdot 21,1}{2} = 1,06 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ1}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 21,1}{2} = 0,63 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ1}} = \sqrt{R_{\text{КЛ1}}^2 + X_{\text{КЛ1}}^2} = \sqrt{1,06^2 + 0,63^2} = 1,23 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

$$R_{\text{КЛ2}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{3,16 \cdot 6,5}{1} = 20,5 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ2}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,073 \cdot 6,5}{1} = 0,5 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ2}} = \sqrt{R_{\text{КЛ2}}^2 + X_{\text{КЛ2}}^2} = \sqrt{20,5^2 + 0,5^2} = 20,5 \text{ мОм}.$$

Расчет тока короткого замыкания для точки К1:

Полное сопротивление до точки К1

$$Z_{\text{К1}} = Z_{\text{тр}} + Z_{Q1} + Z_{\text{ТТ1}} + Z_{\text{ру}} = 8,8 + 0,15 + 0 + 15,021 = 24,0 \text{ мОм}.$$



Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 24,0} = 9,6 \text{ кА.}$$

Постоянная времени

$$T_{a1} = \frac{X_{рез1}}{\omega \cdot R_{рез1}} = \frac{8,9}{314 \cdot 16,9} = 0,0017 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0017} = 1,003.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1

$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,003 \cdot 9,6 = 9,6 \text{ кА.}$$

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	$Z_{\Sigma}$ , МОм	$k_{уд}$	$T_a$ , с	$I_K$ , кА	$i_{уд}$ , кА
К1	24,0	1,003	0,0017	9,6	9,6
К2	45,8	1,003	0,0017	5,0	5,0
К3	74,4	1,000	0,0007	3,1	3,1

#### 4.6 Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Карта селективности действия аппаратов защиты строиться в логарифмической системе координат и служит для проверки правильности выбора аппаратов защиты. На карту селективности наносятся:

- Токи  $I_{ном}$  и  $I_{пуск}$  характерные для электроприёмника;
- Токи  $I_p$  и  $I_{тик}$  для силового ШР;
- Токи  $I_p$  и  $I_{тик}$  для вводного РУ (если имеется);
- Защитные характеристики аппаратов защиты;
- Для сети 0,4кВ отстраивают значения токов КЗ;

Данные нагрузки и аппаратов защиты для построения карты селективности сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Данные для построения карты селективности

Узел нагрузки	ТП1	ПР1	Вентилятор №27
Расчетный ток $I_p$ , А	2339,8	529,0	–
Пиковый ток $I_{пик}$ , А	3193,4	658,2	–
Номинальный ток $I_{ном}$ , А	–	–	30,1
Пусковой ток $I_{пуск}$ , А	–	–	210,9
Ток КЗ $I_k$ , А	9587,5	4989,3	3056,8
Тип аппарата	ВА74 – 45	ВА74 – 40	ВА57 – 35
Условия срабатывания по току			
– при перегрузке $I_{ном.расц}$ , А	3000	625	40
– при КЗ $I_{кз}$ , А	9000	2500	320
Условия срабатывания по времени, с	0,2	0,1	0,02

Карта селективности представлена на рисунке 4.6.

Обозначения на карте селективности:

- 1 - номинальный ток ЭП;
- 2 - пусковой ток ЭП;
- 3 – расчётный ток распределительного пункта ПР-1;
- 4 – пиковый ток распределительного пункта ПР-1;
- 5 – расчётный ток ТП;
- 6 – пиковый ток ТП;
- 7 –защитная характеристика автомата электроприемника;
- 8 – защитная характеристика автомата ПР;
- 9 – защитная характеристика автомата ТП;
- 10 – ток КЗ в точке К3;
- 11 – ток КЗ в точке К2;
- 12 – ток КЗ в точке К1.

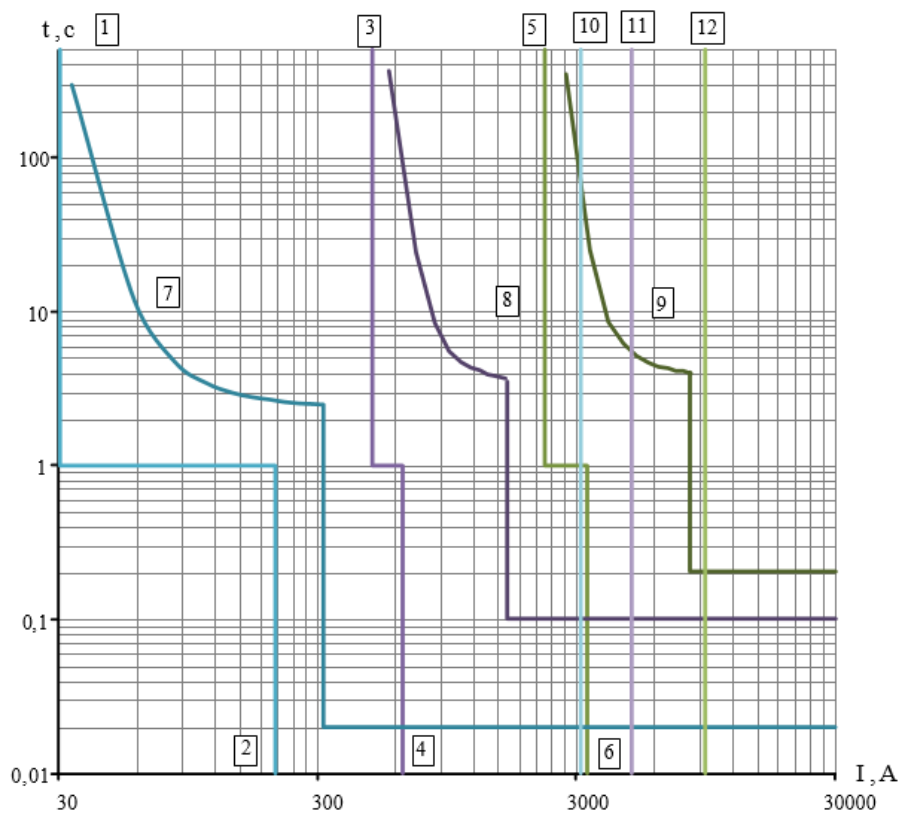
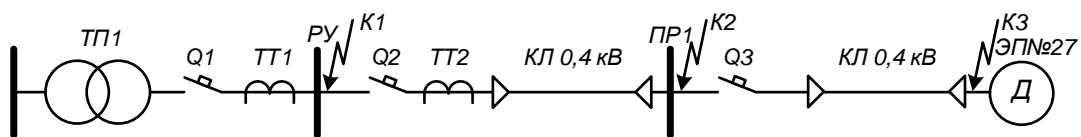


Рисунок 4.6 – Карта селективности действия аппаратов защиты

## 4.7 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ

Из-за высокой проводимости петли фаза-ноль токи однофазного КЗ могут быть в несколько раз меньше токов трехфазного КЗ, поэтому обеспечение отключения аппаратами защиты токов трехфазного КЗ не является гарантией отключения однофазного КЗ, по той причине, что токи однофазного короткого замыкания могут быть в несколько раз меньше токов трехфазного КЗ. В сети напряжения 0,4 кВ необходимо быстрое отключение повреждения.

Расчет токов КЗ ведем для участка ТП7 – ПР1 – ЭП №27.

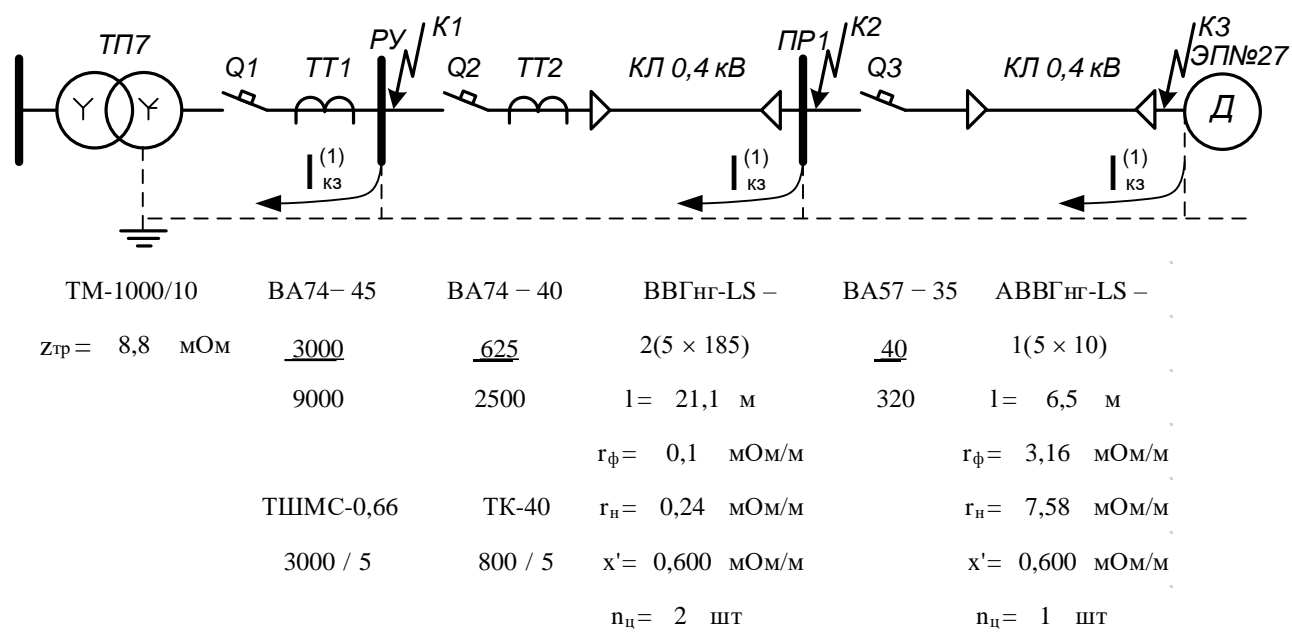


Рисунок 4.7 – Расчётная схема для однофазного КЗ

Сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус [1, стр. 159, табл. 7.4]

$$\frac{Z_{тр}}{3} = \frac{8,8}{3} = 2,9 \text{ МОм.}$$

Автоматические выключатели

$$R_{Q1} = 0,13 \text{ МОм;}$$

$$X_{Q1} = 0,07 \text{ МОм;}$$

$$R_{Q2} = 0,37 \text{ МОм;}$$

$$X_{Q2} = 0,13 \text{ МОм;}$$

$$R_{Q3} = 6,80 \text{ мОм};$$

$$X_{Q3} = 4,50 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ2

$$R_{ТТ2} = 0,05 \text{ мОм},$$

$$X_{ТТ2} = 0,02 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,1 \cdot 21,1}{2} = 1,06 \text{ мОм},$$

активное сопротивление нулевого проводника [26, стр. 143, табл. 6.22]

$$R_{\text{н}1} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,24 \cdot 21,1}{2} = 2,5 \text{ мОм},$$

внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль [1, стр. 159]

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 21,1}{2} = 6,3 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 2} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{3,16 \cdot 6,5}{1} = 20,5 \text{ мОм},$$

активное сопротивление нулевого проводника [26, стр. 143, табл. 6.22]

$$R_{\text{н}2} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{7,58 \cdot 6,5}{1} = 49,3 \text{ мОм},$$

внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль [1, стр. 159]

$$X'_2 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 6,5}{1} = 3,9 \text{ мОм}.$$

Сопротивление дуги в точке КЗ [1, стр. 159]

$$R_{\text{д}} = 0,03 \text{ мОм}.$$

Сопротивление питающей системы [1, стр. 159]

$$X_{\text{с}} = 3,2 \text{ мОм}.$$

Внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления  $X''$  учитывается только для стальных проводов [1, стр. 159].

Ток однофазного КЗ рассчитывается по упрощенной формуле:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{тр}}{3} + Z_n},$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение сети, В.

Расчет тока КЗ в точке К1.

Сопротивление петли фаза ноль до точки К1

$$Z_{n1} = \sqrt{(R_d + R_{Q1})^2 + (X_c + X_{Q1})^2} = \\ = \sqrt{(0,03 + 0,13)^2 + (3,2 + 0,07)^2} = 3,29 \text{ мОм}.$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{тр}}{3} + Z_{n1}} = \frac{220}{2,9 + 3,29} = 35,5 \text{ кА}.$$

Проверка на условие срабатывания защиты

$$I_{K1}^{(1)} = 35,5 \text{ кА} > 3 \cdot I_{ном.расц} = 3 \cdot 2,500 = 7,5 \text{ кА},$$

Автомат проходит проверку, в случае однофазного КЗ в точке К1 автомат сработает.

Расчёты для точек К1, К2 и К3 занесём в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчётов токов КЗ

Точка КЗ	$Z_\Sigma$ , мОм	$I_K$ , кА	$3 \cdot I_{ном.расц}$ , кА
К1	3,29	35,5	7,5
К2	10,56	16,3	1,9
К3	82,75	2,57	0,12

Таким образом, расчет показал, что выбранные автоматические выключатели чувствительны к однофазному короткому замыканию.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель дипломной работы: проектирование электроснабжения предприятия по производству кабельной продукции с детальным рассмотрением цеха телефонных кабелей.

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта электроснабжения Режевского кабельного завода, согласно всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Реализация цели достигается решением следующих задач:

1. Анализ конкурентных технических решений;
2. Планирование работ по проекту;
3. Формирование бюджета затрат;
4. Определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

1) На первом этапе проведем исследование потенциальных потребителей

Для проведения анализа потребителей результатов исследования необходимо провести сегментирование целевого рынка.

Целевым рынком являются те сегменты рынка, где в дальнейшем будет продаваться разработка. Сегменты рынка – часть рынка или группы потребителей, выделенные по определенным общим признакам. Сегментирование рынка – разделение потребителей на группы, для каждой из которых может продаваться определенный товар.

Для сегментирования рынка электроэнергетики можно выбрать следующие критерии: мощность предприятия и категория потребителей электроснабжения.

По мощности предприятия делятся на: малые (до 5 МВА); средние (5÷75 МВА); большие (свыше 75 МВА). По требуемой степени надежности потребителей разделяют на I, II, III категории.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования услуг электроэнергетики в сфере электроснабжения

	1 категория	2 категория	3 категория
Большие	Р	С	М
Средние	Р, С	Р, М, С	М, С
Малые	Р, С	Р, М, С	Р, М, С

В данной таблице: Р - радиальная, М - магистральная, С - смешанная схемы электроснабжения.

Радиальная схема обеспечивает наибольшую надёжность по сравнению с магистральной, поэтому её применение возможно для электроснабжения потребителей I категории. Для средних и малых предприятий смешанная схема так же обеспечивает достаточную надёжность электроснабжения, как и радиальная.

Для больших и средних потребителей II и III категорий возможно применение магистральной схемы.

Технологические особенности цеха телефонных кабелей диктуют необходимость применения именно радиальной схемы, т.к. электроприемники не связаны единым технологическим процессом, а значит необходимо обеспечить бесперебойное питание станков, независимо от работы других.

Так же на первом этапе необходимо произвести анализ конкурентных технических решений, которые могут быть приняты при проектировании схемы электроснабжения цеха завода. Такой анализ сможет помочь внести изменения в текущий проект для достижения его



конкурентоспособности. Анализ будем проводить с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения с помощью сравнительной оценочной карты. Для этого будем проводить сравнение возможных вариантов схем электроснабжения цеховых сетей систем 3-х фазного тока напряжением до 1000 В:

- 1) Радиальная схема;
- 2) Магистральная схема;
- 3) Смешанная схема.

Итогом данного сравнения будет выявление наиболее конкурентоспособной схемы электроснабжения, которая будет отвечать требованиям надежности, безопасности, ресурсосбережения, оптимальной цены и качества.

Анализ конкурентоспособности схем электроснабжения будет определяться по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  - вес показателя (в долях ед.);

$B_i$  - балл  $i$ -показателя.

Оценочная карта сравнения конкурентных решений приведена в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Оценочная карта сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Энергоэкономичность (минимум потерь)	0,10	3	5	3	0,30	0,50	0,30
2. Надежность	0,20	5	2	4	1,00	0,40	0,80
3. Безопасность	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,20
4. Простота эксплуатации	0,20	5	4	4	1,00	0,80	0,80
5. Ремонтопригодность	0,10	5	4	4	0,50	0,40	0,40
6. Уровень материалоемкости	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,20
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена установки	0,05	2	4	3	0,20	0,40	0,30
2. Затраты на монтаж схемы (минимальные)	0,15	3	5	4	0,30	0,50	0,40
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	5	3	4	0,50	0,30	0,40
Итого	1,00	36	36	34	4,20	3,70	3,80

Согласно результатам анализа, радиальная схема электроснабжения цеха получила наивысший балл по сравнению с другими конкурентными техническими решениями ( $K=4,2$ ). Данная схема обеспечивает должную надежность электроснабжения, безопасность в эксплуатации и высокую ремонтопригодность. Дальнейший анализ и расчёт будет применён только к данной схеме.

2) Второй этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

3) Третий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

4) В рамках четвертого этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT- анализа.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Таблица 5.3 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Использование современных методов расчета и проектирования С2. Наличие опытного руководителя С3. Безопасность производства С4. Квалифицированный персонал, высокий технический уровень производства С5. Высокий уровень надежности системы	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл2. Сложность ремонта некоторого оборудования Сл3. Дороговизна оборудования Сл4. Сложность эксплуатации электрооборудования
<b>Возможности:</b>  В1. – Появление дополнительной автоматизированной системы управления внутрицеховой структуры  В2. – Увеличение объемов потребления электроэнергии  В3. – Модернизация технологии производства	1) Сильные стороны проекта могут позволить в полной мере осуществить предоставляемые возможности. Так, использование современных методов проектирования делает принципиально возможной реализацию каждой из представленных возможностей. 2) Для выполнения электроснабжения необходимо как можно больше практики, поэтому опытный руководитель поможет с рациональным и надежным проектированием. 3) Электроснабжение, выполненное по радиальной схеме, позволит модернизировать технологию производства либо увеличить объемы потребления даже с использованием пожаро- и взрывоопасных установок. Система при этом пройдет требования безопасности. 4) Квалифицированный персонал способен не только продуктивно работать с оборудованием, но и адаптироваться под нововведения и даже модернизацию технологии. 5) Высокая надежность проектируемой системы позволяет снабжать потребителей электроэнергии без перебоев в энергосети и вовремя предохранять их от нежелательных последствий токов кз.	1) Слабые стороны проекта обусловлены больше спецификой области проектирования, а не изъянами методики. То есть слабые места не делают проект менее конкурентоспособным. Тем не менее, слабые стороны препятствуют осуществлению возможностей и раскрытия потенциала. 2) Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытаний и его дороговизна препятствуют наращиванию объемов, производительности и, в большей степени, модернизации производства. В связи с этим все нововведения необходимо тщательно просчитывать и обосновывать, вводить, по возможности, постепенно с целью сохранения устойчивости всей системы электроснабжения. 3) Сложности ремонта, поверки и эксплуатации оборудования так же замедляют процессы модернизации, особенно это связано с автоматизацией системы управления, однако квалифицированные специалисты, готовые профессионально расти, способны справиться с подобного рода трудностями.
	1) Данный проект выполнен в соответствии с современными методиками расчета и	1) В случае возникновения проблем с импортом отдельных частей

<p style="text-align: center;"><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологию производства</p> <p>У2. Импорт отдельных частей для конструкций</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение</p>	<p>проектирования, соблюдены требования безопасности, а также реализован высокий технический уровень производства. Все эти факторы делают возможным перестройку технологического процесса, снижая риск отсутствия спроса.</p> <p>2) При проектировании опытный руководитель поможет с выбором оборудования и конструкций, сведя к минимуму импортные составляющие, опираясь на рациональный выбор и соотношение «цена-качество». Кроме того, руководитель может помочь с грамотным планированием финансирования и распределением работ по периодам.</p> <p>3) Дополнительные государственные требования и стандарты, как правило, согласуются с предыдущими требованиями. В связи с этим современные методы расчета, опытный наставник, безопасность производства и высокий технический уровень производства в достаточной мере позволят минимизировать риск несоответствия новым требованиям.</p> <p>4) Таким образом, сильные стороны проекта либо защищают его от рисков, либо в достаточной степени их минимизируют.</p>	<p>конструкции необходимо подобрать отечественный аналог. Если это не представляется возможным, то перестроить систему электроснабжения иначе без проблемных импортных частей. Безусловно, осуществлять это предстоит грамотным специалистам, на которых и рассчитана технология.</p> <p>2) В случае, когда дополнительные государственные требования существенно усложняют эксплуатацию электро-оборудования, необходимо разрабатывать новые инструкции и положения для персонала. В случае необходимости обеспечивать повышение квалификации.</p> <p>3) В случае возникновения проблем с финансированием следует идти на компромиссы с производительностью, но строго соблюдать требования безопасности</p> <p>4) Существенной особенностью системы электроснабжения является дороговизна оборудования. Для минимизации рисков необходимо не только правильно его эксплуатировать, но и уделять особое внимание диагностике и выявлению неисправностей на ранних стадиях.</p>
--	--	---

Таким образом в ходе SWOT-анализа были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны проекта, а также их зависимости. Разрабатываемая система снабжения выполнена по радиальной схеме, что гарантирует её надежность и позволяет поднять объем производства вырабатываемой электроэнергии и обеспечить ею потребителей без каких-либо перебоев.

К недостаткам проекта можно отнести достаточно высокую стоимость электрооборудования: трансформаторов, высоковольтных выключателей, станков и другого, сложность и длительность ремонта электрооборудования также сказывается на производительности системы.

Из анализа видно, что проект обладает в большей степени сильными сторонами. Поскольку рассмотренные недостатки схемы электроснабжения

характерны для любой системы снабжения предприятий, то можно сделать вывод о целесообразности осуществления разрабатываемого проекта.

## 5.2 Планирование технико-конструкторских работ

Порядок действий по планированию работ научного исследования:

- определить структуру работ в рамках исследования;
- определить ответственность за каждый этап работы;
- установить длительности этапов работы;
- построить календарный план-график проведения исследования (график Ганта).

Для выполнения научного исследования была сформирована рабочая группа в составе руководителя и инженера. Каждый участник группы несет ответственность за определенные виды запланированных работ.

Перечень этапов работ и их распределение по исполнителям при проектировании кабельного завода приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Перечень этапов работ при проектировании

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Инженер
Теоретические исследования	3	Календарное планирование работ	Руководитель
	4	Разработка вариантов проектирования	Инженер
	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Выбор программного обеспечения для оформления	Инженер

	7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	Инженер
	8	Расчет основных и аварийных принципов функционирования	Инженер
	9	Оценка надежности и эффективности полученных результатов	Руководитель
Оформление отчёта по НИР	10	Вопрос социальной ответственности	Инженер
	11	Вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Инженер
	12	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер

Произведем определение трудоёмкости выполнения проектировочных работ. Чаще всего именно трудовые затраты составляет основную часть стоимости разработки. В связи с этим важно их количественное определение по отношению к каждому участнику научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научной работы можно измерить в человеко-днях и оценить лишь приблизительно, с какой-либо вероятностью, так как она зависит от большого количества трудно учитываемых факторов. Определение ожидаемого (усредненного) значения  $t_{ож}$  осуществляется по формуле:

$$t_{ож_i} = \frac{3 \cdot t_{\min_i} + 2 \cdot t_{\max_i}}{5};$$

где  $t_{ож_i}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения  $i$ -ой работы в человеко-днях;  $t_{\min}$  – минимальная трудоёмкость выполнения  $i$ -ой работы (оптимистичная оценка, опирающаяся на наиболее благоприятное стечение обстоятельств) в человеко-днях.  $t_{\max}$  – максимальная трудоёмкость выполнения  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка, опирающаяся на наиболее неблагоприятное стечение обстоятельств) в человеко-днях.

Пример расчета ожидаемого значения трудоёмкости для нескольких этапов:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 (\text{чел.-дн}); \quad t_{ож2} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 (\text{чел.-дн}).$$

Рассчитав ожидаемую трудоёмкость, находим продолжительность каждого вида работы в рабочих днях, учитывая одновременность выполнения работ инженером и руководителем, по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{C_i};$$

где  $T_{pi}$  – длительность одной работы, раб. дней;  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дней;  $C_i$  – количество работников, одновременно выполняющих одну и ту же работу, человек.

В данной работе все действия выполняются каждым исполнителем последовательно, поэтому  $T_{pi} = t_{ожi}$ . Расчет длительности каждой из работ приведен в таблице 5.5.

Далее осуществляется разработка графика проведения научного исследования. Наиболее наглядным и удобным является построение календарного план-графика проведения в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график с протяженными во времени отрезками, характеризующими даты начала и окончания представленных работ.

Для большей наглядности графика, продолжительность каждого этапа работ следует перевести из рабочих дней в календарные по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по следующему выражению:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}};$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Определение коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48;$$

Соответственно продолжительность первой работы в календарных днях:

$$T_{\text{к}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 3,8 \cdot 1,48 = 5,62 \approx 6 (\text{дней}).$$

Найденные значения календарных дней каждой работы округляем до целого числа. Рассчитанные значения сводим в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ (человеко-дни)			Длительность работ в рабочих днях $T_{\text{рi}}$	Длительность работ в календарных днях $T_{\text{кi}}$
	$t_{\text{min}}$	$t_{\text{max}}$	$t_{\text{ож}}$		
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	1,4	2
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	5	8	6,2	6,2	9
Календарное планирование работ	1	2	1,4	1,4	2
Разработка вариантов проектирования	6	8	6,8	6,8	10



Проведение теоретических расчетов и обоснований	10	15	12	12	18
Выбор программного обеспечения для оформления	2	3	2,4	2,4	4
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	3	5	3,8	3,8	6
Расчет основных и аварийных принципов функционирования	2	3	2,4	2,4	4
Оценка эффективности и надежности полученных результатов	2	3	2,4	2,4	4
Вопросы социальной ответственности	3	4	3,4	3,4	5
Вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения	3	4	3,4	3,4	5
Составление пояснительной записки по проекту	5	7	5,8	5,8	9
Итого	43	64	51,4	51,4	78

На основании таблицы строится календарный план-графика. Далее, по диаграмме Ганта, можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта составит 78 дней, из которых 70 дней – продолжительность выполнения работ инженером, а 8 дней – продолжительность выполнения работ руководителем. 7 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.



### 5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В результате планирования бюджета НТИ обеспечивается полное, достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его проведением. При этом используются следующие статьи затрат:

- материальные затраты НТИ;
- заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- отчисления на амортизацию;
- накладные расходы.

#### Расчет материальных затрат

В этот вид затрат включаются дополнительные затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители, картриджи и т.п.

Таблица 5.6 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Бумага	1	250	250
Ручка	2	50	100
Папка	1	50	50
Калькулятор	1	700	700
Итого			1100

В процессе расчета материальных затрат не учитывался тот факт, что исполнители технического проекта доставляли канцелярские принадлежности самостоятельно, то есть не учтены транспортные расходы.

#### Заработная плата исполнителей

Основной заработной платой является вознаграждение за выполненную работу в соответствии с установленными нормами труда.

Статья включает сумму основной заработной платы и дополнительной заработной платы работников, которые непосредственно заняты выполнением проекта и определяется как:

$$З_n = З_{осн} + З_{доп}$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p;$$

где  $З_{дн}$  – среднедневная заработная плата;  $T_p$  – суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d};$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года ( $M = 11,2$  для пятидневной рабочей недели и отпуске в 24 рабочих дня);  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, (определяется за вычетом выходных, праздничных и больничных дней).

Месячная зарплата научно-технического работника определяется по формуле:

$$З_m = З_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p;$$

где  $З_{ТС}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $З_{ТС}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, 0,35;

$k_p$  – районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,3.

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату руководителя НТИ:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 35860 \cdot (1 + 0,3 + 0,35) \cdot 1,3 = 76919,7(\text{руб});$$

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{76919,7 \cdot 11,2}{365 - 142} = 3862,3(\text{руб});$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 3862,3 \cdot 6 = 23173,8(\text{руб});$$

$$Z_{II} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 23173,8 + 0,15 \cdot 23173,8 = 26649,87(\text{руб});$$

Аналогично рассчитывается заработная плата инженера:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 21760 \cdot (1 + 0,3 + 0,35) \cdot 1,3 = 46675,66(\text{руб});$$

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{46675,66 \cdot 11,2}{365 - 142} = 2344(\text{руб});$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 2344 \cdot 47 = 110168(\text{руб});$$

$$Z_{II} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 110168 + 0,15 \cdot 110168 = 126693,2(\text{руб});$$

### **Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{дон});$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст.58 Федерального закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, вводится пониженная ставка – 30,2 %.

Величина отчислений во внебюджетные фонды для руководителя:

$$З_{внеб1} = 0,302 \cdot 26649,87 = 8048,3(\text{руб});$$

Инженера:

$$З_{внеб2} = 0,302 \cdot 126693,2 = 38261,3(\text{руб});$$

### **Отчисления на амортизацию**

Отчисления на амортизацию производятся для дорогостоящего оборудования, в данном случае, для персонального компьютера. Средства начисляются линейным методом:

$$H_A = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,33\%;$$

$$A = \text{Стоимость} \cdot \frac{H_A \cdot T_{\text{раб.дн}}}{100 \cdot 365} = \frac{53000 \cdot 33,33 \cdot 70}{100 \cdot 365} = 3385(\text{руб});$$

где  $H_A$ , % – годовая норма амортизации по компьютеру;  $n$  – срок полезного использования компьютера в бухгалтерском учете;  $T_{\text{раб.дн}}$  – количество дней использования компьютера.

### **Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = Z_{проч} \cdot k_{нр} = (Z_m + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) \cdot k_{нр};$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Коэффициент накладных расходов примем 16%.

Тогда накладные расходы будут составлять:

$$Z_{накл} = (1100 + 153343,07 + 46309,6 + 3385) \cdot 0,16 = 32662(руб);$$

### Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта.

Определение суммы затрат на технический проект приведено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	1,1	0,6
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	153,343	65,8
3. Отчисления во внебюджетные фонды	46,309	17,8
4. Накладные расходы	32,662	13,9
5. Отчисления на амортизацию	3,385	1,9
Итого	236,799	100,0

Смета затрат на разработку технического проекта составляет 236,799 тыс.руб, из которых более половины (65,8 %) составляют затраты на оплату труда исполнителей проекта.

#### 5.4 Оценка ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности будем производить на основе интегрального показателя ресурсоэффективности.

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  - интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го варианта;  $b_i$  - бальная оценка проекта.

Таблица 5.8 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент	Бальная оценка		
		Б1	Б2	Б3
1.Надежность	0,4	5	2	4
2. Безопасность	0,2	5	3	4
3. Простота эксплуатации	0,2	5	4	4
4. Ремонтопригодность	0,1	5	4	4
5. Уровень материалоемкости	0,1	3	5	4
Итого	1,0	4,8	3,1	4

$$I_{p-1} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 = 4,8;$$

$$I_{p-2} = 2 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 3,1;$$

$$I_{p-3} = 4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 = 4,0.$$

Ресурсоэффективность радиальной схемы электроснабжения была подтверждена ( $I_{p-1} = 4,8$ ) с помощью расчета интегрального показателя ресурсоэффективности и сравнения его с другими схемами.



## **Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

Таким образом, анализ конкурентных технических решений с учетом различных требований к схеме электроснабжения показал, что наиболее конкурентоспособной среди всех схем является радиальная схема.

С помощью SWOT-анализа была проанализирована радиальная сеть с точки зрения конкурентоспособности. В SWOT-анализе были оценены сильные, слабые стороны проекта, угрозы и возможности.

На следующем этапе было произведено календарное планирование работ, при котором длительность работ составила 109 календарных дней. На основе рассчитанных данных была построена диаграмма Ганта.

Итоговые затраты на научно-исследовательский проект составили 236,8 тыс. руб., около 60% затрат приходится на выплату основной заработной платы исполнителям проекта.

Радиальная схема электроснабжения, применяемая при проектировании системы электроснабжения предприятия по производству кабельной продукции и цеха телефонных кабелей, обладает высокой конкурентоспособностью по сравнению с другими схемами. Она обеспечивает высокую надёжность, так как авария на одной линии не влияет на работу ЭП, подключенных к другой линии. Выполняется обычно проводами или кабелями. Может применяться в цехах с любой окружающей средой. Обеспечивает удобство автоматизации.

## **6. Социальная ответственность**

### **Введение**

В данном разделе ВКР проанализированы условия труда и разработаны меры по обеспечению оптимальных условий труда на предприятии по производству кабельной продукции и в цехе телефонных кабелей в частности.

Проработаны организационные вопросы, проанализированы правовые нормы трудового законодательства. Произведён анализ вредных опасных факторов на производстве и их воздействие на персонал предприятия, такие как: повышенное значение уровня шума, повышенное значение уровня вибрации, вероятность механических травм, недостаточная освещенность рабочих зон, риск поражения электрическим током, неоптимальные показатели микроклимата.

Были проработаны вопросы производственной санитарии, техники безопасности, пожарной профилактики, охраны окружающей среды, защиты в условиях чрезвычайных ситуаций.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

#### **Специальные правовые нормы трудового законодательства и организация при компоновке рабочей зоны.**

Страхование работников - часть государственной программы по обеспечению надлежащего уровня жизни в случае болезни, несчастного случая на производстве или утраты рабочего места при наличии независимых от их воли причин (ликвидация или реорганизация предприятия и т.д.) [2]. Оно выступает залогом для создания располагающих, комфортных и безопасных условий труда в целом.

Существует два основных вида социального обеспечения работников: пособия и пенсии.

Средства Фонда Социального Страхования (ФСС) расходуются на лечение, реабилитацию, питание и прочие мероприятия, предусмотренные данным видом страхования.

Социальное страхование работников выполняет следующие функции:

- обеспечение социальной защиты;

- снижение профессионального риска;
- возмещение вреда, полученного в ходе выполнения обязательств по трудовому договору;
- реализация программы по сокращению несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве.

Социальное страхование работников распространяется на следующие категории физических лиц [3]:

- всех тех, кто работает или работал по трудовому договору со страхователем (работодателем);
- определенной категории лиц, работающих по гражданско-правовому договору;
- личностей, привлекаемых к труду страхователем в случае их лишения свободы.

Социальное страхование работников является гарантией для выплаты пособия по временной нетрудоспособности; компенсации при несчастном случае на производстве и профессиональном заболевании; сохранения дневного или месячного заработка в ряде случаев; выплаты командировочных расходов при переобучении работника; возмещения расходов, связанных с использованием личного имущества работника.

Выплаты по социальному страхованию предусмотрены трудовым договором. Они формируются на основании медицинского заключения или иного документа, подтверждающего утрату работоспособности. Размер компенсации при несчастных случаях и профзаболеваниях зависит от степени потери трудоспособности.

Что касается рабочего места работника, то оно представляет собой цех, в котором находятся группа рабочего обслуживающего персонала, в составе которой находится 3 инженера, выполняющих контроль и выдающие распоряжения по работам, и руководитель, который контролирует правильность и целостность выполнения работ.

Для осуществления производства в цехе телефонных кабелей установлены 74 единицы оборудования. Технологический процесс включает в себя работу с станками, производственными линиями и транспортными приспособлениями.

### **Организационные вопросы обеспечения безопасности**

Все места на территории завода, где ведутся погрузо-разгрузочные работы и зоны действия подъемных кранов ограничиваются сетчатыми сборками и снабжены предупреждающими знаками. Крышки коммуникационных колодцев окрашены в белый цвет, а места аварийного отсоединения снабжены табличками типа: “Стоять! Опасность” и т.п. [1].

Для освещения территории завода в темное время суток предусматривается уличное освещение. Освещены транспортные пути, пешеходные дорожки, подъезды к цехам фонарями уличного освещения и прожекторами, обеспечивающими освещенность в пределах 100 лк. Для проходов и проездов, ширина которых не превышает 4-8 м, целесообразно однорядное размещение светильников. Оптимальной высотой установки светильников является 6,5 м. Проезжая часть дорог и пешеходные дорожки имеют твердое покрытие.

На предприятии есть медпункт, в расположении которого находится машина скорой помощи. Предусмотрена столовая в отдельном корпусе. На предприятии имеется пожарное депо с пожарными машинами, а в цехах – добровольные пожарные дружины [6].

На заводе выполнен комплект мер по молниезащите. Молниеотводы установлены на ГПП и на объектах складского хозяйства, на других объектах, где требуется молниезащита [9].

Основные эргономические нормативы осуществляются исходя из рекомендаций [27]. Так в таблице 6.1 приведены критерии выбора оптимальной рабочей зоны сотрудника цеха.

Таблица 6.1- Критерии выбора оптимальной рабочей зоны сотрудника

Рабочее положение	Величина усилий, Н	Степень перемещения работающего	Направление движения рук	Базы отсчета зон досягаемости	Величина рабочей зоны, мм
Сидя	До 30	Ограниченная	Вперед-назад	Фронтальная плоскость, параллельная заднему краю сиденья	Не более 600
			В стороны	Плоскость симметрии сиденья	Не более 500
Переменное	30-100	Обычная	Вперед-назад	Фронтальная плоскость, параллельная заднему краю сиденья	Не более 600
			В стороны	Плоскость симметрии сиденья	Не более 750
Стоя	100-150	Повышенная	Вперед-назад	Фронтальная плоскость, параллельная переднему краю оборудования	Более 300
			В стороны	Средняя плоскость тела	1000

## 6.2 Производственная безопасность

Цех телефонных кабелей предприятия имеет ряд опасных и вредных факторов, которые значительно могут повлиять на здоровье и работоспособность трудящегося человека. Перечень опасных и вредных факторов при работе на рассматриваемом производстве, согласно используемой классификацией ГОСТ 12.0.003-2015 указаны в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	

1. Повышенное значение уровня шума	–	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [7]
2. Повышенное значение уровня вибрации	–	+	+	ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. [24]
3. Механические травмы	–	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [4]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [13]
5. Поражение электрическим током	–	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [6]
6. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [5]

**Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации и мероприятия по снижению воздействия.**

#### **Повышенное значение уровня шума**

Шум - это совокупность аperiодических звуков различной интенсивности и частоты (шелест, дребезжание, скрип, визг и т.п.). С физиологической точки зрения шум - это всякий неблагоприятно воспринимаемый звук. Источниками шума являются работающие машины, станки и производственные линии.

Данный фактор является общебиологическим раздражителем. Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения прежде всего в органах слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах. Степень выраженности этих изменений зависит от параметров шума, стажа работы в условиях воздействия шума, длительности действия шума в течение рабочего дня, индивидуальной чувствительности организма. Воздействие шума может привести к сочетанию профессиональной тугоухости (неврит слухового нерва) с функциональными расстройствами центральной нервной, вегетативной, сердечно-сосудистой и других систем, которые могут рассматриваться как профессиональное заболевание

- шумовая болезнь.

По характеру спектра шум подразделяют на широкополосный шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы и тональный шум, в спектре которого имеются выраженные дискретные (тональные) составляющие. По частотной характеристике – низкочастотные (16-350 Гц), среднечастотные (350-800 Гц), высокочастотные (более 800 Гц). Кроме этого по источнику возникновения шум можно разделить на механический, аэродинамический и электромагнитный.

Санитарно-гигиеническое нормирование шума регламентирует параметры производственных шумов и правила работы на производствах с высоким уровнем шума в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности», СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Для защиты от шума предусматриваются следующие меры [7]:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- использование мал шумных машин;
- проведение послеремонтного и при необходимости периодического контроля шумовых характеристик машин.

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 6.3 [10].

Таблица 6.3 – Предельно допустимые уровни шума

Вид деятельности	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех телефонных кабелей	107	95	87	87	78	75	73	71	69	80

### **Повышенное значение уровня вибрации**

Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называются вибрацией. Причиной возбуждения вибраций являются возникающие при работе

машин и агрегатов неуравновешенные силовые воздействия.

Вибрация является фактором, обладающим высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций обуславливается главным образом силой воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы. Мощность колебательного процесса в зоне контакта и время этого контакта являются главными параметрами, определяющими развитие вибрационных патологий, структура которых зависит от частоты и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явлений резонанса и других условий.

Вибрационная болезнь вызывается продолжительным (3-5 лет) воздействием вибрации в условиях производства. Вибрации делят на локальные (от ручных инструментов) и общие (от станков, оборудования, движущихся машин) [8].

Санитарно-гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием в ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Для защиты вибрации предусматриваются следующие меры [8]:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Технические нормы вибрации согласно представлены в таблице 6.4 [8].



Таблица 6.4 – Нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех телефонных кабелей	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

### **Механические травмы в цехе**

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности ГОСТ 12.1.009-2017. «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения».

В рассматриваемом цехе большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество вращающегося оборудования.

С целью защиты от механических травм, при необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация, проведение инструктажей, вращающиеся части оборудования ограждаются, с установкой концевых выключателей, которые блокируют и отключают механизмы при ее снятии ограждения (кожуха), осмотры оборудования, настройка, обслуживание.

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Нерационально организованное освещение может явиться причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие источники света и блики от них, резкие тени и пульсации освещенности ухудшают видимость и могут вызвать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта. Поэтому одним из важнейших условий для создания благоприятных и безопасных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих мест.

Недостаточное освещение ослабляет внимание, способствует быстрой утомляемости. Чрезмерно яркое освещение приводит к ослеплению, раздраженности и рези в глазах. Все эти факторы могут привести к ухудшению зрения [12].

Санитарно-гигиеническое нормирование освещённости регламентирует

параметры освещённости в зоне зрительной работы (норма освещённости, равномерность освещения), устанавливает требования к освещению СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95», СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий» и ВСН 196-83/Минтрансстрой «Отраслевые нормы проектирования искусственного освещения основных цехов промышленных предприятий Минтрансстроя». Нормы параметров освещения в рассматриваемом цехе занесены в таблицу 6.5

Таблица 6.5 - Нормативы освещенности для цеха телефонных кабелей

Наименование цеха, отделения, участка, технологической операции, оборудования, рабочего места	Освещенность, лк.		
	При комбинированном освещении		При общем освещении
	Общее+ местное	Общее	
Общий уровень освещенности по цеху			300
Металлорежущие станки	2000	200	
Отдел технического контроля	2500	250	750

В зависимости от источника света освещение может быть трех видов: естественное, искусственное и смешанное. Оценка освещенности рабочей зоны проводится в соответствии с [13].

С целью повышения равномерности естественного освещения цеха телефонных кабелей осуществляется комбинированное освещение. Светлая окраска потолка, стен и производственного оборудования способствует созданию равномерного распределения яркостей в поле зрения, также рекомендуется устанавливать осветительные приборы с хорошими рассеивателями, следить за отсутствием пыли на рассеивателях, так как это может привести к уменьшению освещенности.

### **Поражение электрическим током**

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является [4].

По степени опасности поражения людей электрическим током инструментальный цех относится к помещениям с повышенной опасностью (2 категория).

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях [4]:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [15].

Общие требования для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

### **Отклонение показателей микроклимата**

Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей. Указанные параметры – каждый в отдельности и в совокупности – оказывают значительное влияние на работоспособность человека, его самочувствие и здоровье. При их определенных значениях человек испытывает состояние теплового комфорта, что

способствует повышению производительности труда, предупреждению простудных заболеваний. Неблагоприятные значения микроклиматических показателей же могут стать причиной снижения производственных показателей в работе, привести к заболеваниям. Мероприятия по доведению микроклиматических показателей до нормативных значений включаются в комплексные планы предприятий по охране труда. Допустимые микроклиматические условия – установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасовой рабочей смены. В цехе телефонных кабелей согласно [14] с точки зрения классификации работ по тяжести характерна категория IIб. Этой категории соответствуют допустимые показатели микроклимата, приведенные в таблице 6.6 и оптимальные показатели микроклимата, приведенные в таблице 6.7 [14].

Таблица 6.6 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах в цехе телефонных кабелей

Период года	Температура поверхностей, °С	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	16-24	17-23	15-75	0,1-0,3
Теплый	17-28	18-27	15-75	0,1-0,4

Таблица 6.7 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах в цехе телефонных кабелей

Период года	Температура поверхностей, °С	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	18-22	19-21	15-75	0,1-0,3
Теплый	18-22	20-22	15-75	0,2-0,4

### 6.3 Экологическая безопасность.

Охрана окружающей среды, или прикладная экология – комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу [16].

Мерами в общей системе безопасности предприятия могут быть ограничение выбросов в атмосферу и гидросферу с целью улучшения общей экологической обстановки, а также ограничение несанкционированного выброса

мусора и др.

В соответствии с [16] проводится оценка воздействия на окружающую среду в результате реализации проектных решений в период строительства (реконструкции объекта) и эксплуатации проектируемого объекта и возможность размещения (реконструкции) проектируемого объекта на отведенной территории.

По результатам оценки воздействия разрабатываются мероприятия по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов.

Согласно [16] на предприятии должны быть предусмотрены:

1. Оценка воздействия объекта на компоненты окружающей среды;
2. Мероприятия по охране атмосферного воздуха;
3. Мероприятия по охране и рациональному использованию земельных ресурсов и почвенного покрова;
4. Мероприятия по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке и размещению опасных отходов.

Снижение количества выбрасываемых в атмосферу вредных веществ осуществляется путём внедрения экологически безопасных технологических процессов и используемых материалов и оснащением источников выбросов газоочистным оборудованием.

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.0.001-76 (Основные положения) [17], ГН 2.1.6.3492 – 17 (Атмосфера) [18] и ГОСТ 17.1.3.13-86. (Гидросфера) [19].

Мероприятия по уменьшению загрязняющих веществ с предприятия:

- разработка и внедрение безотходных, малоотходных и ресурсосберегающих технологий;
- внедрение инновационных очистительных систем для более эффективной фильтрации газа и пыли, очистки сточных вод;
- переход на экологически чистое сырьё и использование вторичных материалов;
- использование топливных ресурсов с минимальным содержанием

загрязняющих веществ;

- реорганизация системы движения транспорта;
- минимизация объемов неорганизованных выбросов и утечек;
- строгий контроль технологической работоспособности производственных фондов и очистных сооружений.

Сточные воды появляются при выдержке кабеля во влажной среде (водяном паре, горячей воде), в результате мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

Твердые отходы, к которым относятся первичная упаковка сырья и материалов передаются специализированным организациям для утилизации.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайной ситуацией (ЧС) является обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Пожар – наиболее вероятная ЧС в цехе телефонных кабелей.

Пожарная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, направленная на профилактику и ликвидацию пожаров на производстве [20].

Основной причиной пожара в рассматриваемом помещении является неисправность электрооборудования, короткое замыкание, нагрев проводов и загорание изоляции, перезагрузка электрических сетей электропроводки. Основы противопожарной защиты предприятий определены [21].

Для защиты от пожаров предприятия, здания и сооружения оборудуют соответствующей пожарной техникой. Средства сигнализации и пожарной связи позволяют своевременно обнаружить пожар и сообщить в пожарную команду о месте его возникновения. Датчики пожарной сигнализации срабатывают на

повышение температуры, на появление дыма, на открытое пламя или одновременно на теплоту и дым. Пожарной сигнализацией должны быть оборудованы все здания, в которых размещены цехи, мастерские, лаборатории, склады материалов и готовой продукции.

Для минимизации и полного устранения негативных последствий пожара в технике безопасности прописано, что в производственных помещениях и наружных установках цехов все проходы, эвакуационные выходы, коридоры, тамбуры, лестницы, подступы к производственному оборудованию и машинам, к материалам и средствам пожаротушения, к средствам связи и пожарной сигнализации всегда должны быть свободными. Двери на эвакуационных путях должны свободно открываться в направлении выхода из здания.

### **Выводы по разделу**

В разделе «Социальная ответственность» были проанализированы условия труда и разработаны меры по обеспечению оптимальных условий труда на Режевском кабельном заводе и в цехе телефонных кабелей в частности, проработаны вопросы производственной санитарии, техники безопасности, пожарной профилактики, охраны окружающей среды, защиты в условиях чрезвычайных ситуаций. В разделе по безопасности в чрезвычайных ситуациях был приведен анализ ЧС, которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации проектируемого решения. В качестве наиболее вероятного вида ЧС рассмотрен пожар.

В заключении данного раздела стоит отметить, что при выполнении и соблюдении всех вышеописанных мер на предприятии будут сведены к минимуму вредные и опасные воздействия на персонал и окружающую среду

## Заключение

Целью работы было осуществление электроснабжения электроприёмников цеха телефонных кабелей завода кабельного производства и всего предприятия в целом.

Одной из задач было проведение инженерных изысканий, связанных с изучением климата, географических и геологических условий местности. С учетом изученных условий производилось дальнейшее проектирование объекта электроснабжения, выбор оборудования, соответствующего климатическим условиям, и канализация электрической энергии.

Первым этапом проектирования было предварительное определение расчетной электрической нагрузки цеха. Для расчёта был использован метод упорядоченных диаграмм.

Расчетная электрическая нагрузка предприятия была определена методом коэффициента спроса. При расчете были учтены потери мощности в трансформаторах ЦТП и ГПП, и потери в высоковольтных линиях.

Произведено построение картограммы нагрузок в разделе 2.3, был определён центр электрических нагрузок предприятия. Главная понизительная подстанция была установлена максимально с учетом расположения объектов и подъездных путей, как можно ближе к центру электрических нагрузок, .

Определены число и мощность цеховых трансформаторов.

Распределительная сеть 10 кВ по территории предприятия выполнена кабелем марки АПвБП. Питание высоковольтного двигателя осуществлено кабельной линией с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвВнг, проложенным в кабель-канале. Питание осуществлено по радиальным линиям.

По результатам расчета короткого замыкания проводники 10 кВ были проверены на термическую стойкость, а медный экран кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена по допустимому току короткого замыкания.

При разработке схемы внешнего электроснабжения учитывалась категоричность электроприемников объекта, а также простота и надежность схемы. Было выбрано оборудование открытого распределительного устройства,



проведены проверки по номинальным параметрам, а также на стойкость токам короткого замыкания.

В качестве закрытого распределительного устройства были приняты ячейки КРУ. Такое РУ позволяет безопасно производить обслуживание, осуществлять ремонт и замену элементов высоковольтного оборудования.

Следующим этапом было осуществлено электроснабжение промышленных потребителей в здании цеха. На данном этапе электроприемники были распределены по пунктам питания, были рассчитаны номинальные параметры приемников, а также была определена расчетная нагрузка цеха с учетом распределения электроприемников.

Приёмники рассчитываемого цеха запитаны от распределительных пунктов четырехжильным кабелем марки АВВГ, имеющем алюминиевые жилы с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката, с прокладкой в коробе, на лотках. Для защиты кабельных линий, электроприемников используются автоматические выключатели марки ВА.

Карта селективности показывает, что селективность обеспечивается., Построенная для трёх режимов эпюра отклонения напряжения показывает, что у электроприёмников напряжение находится в допустимых пределах во всех режимах работы, выбранные сечения пригодны для эксплуатации.

В результате проводимых ранее проверок и согласно построенным в разделе 4.4 эпюрам отклонения напряжения и построенной в главе 4.6 карте селективности можно сделать вывод, что данный вариант электроснабжения цеха телефонных кабелей и предприятия по производству кабельной продукции в целом надёжен и пригоден к эксплуатации.

## Список использованных источников

1. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / Л.П. Сумарокова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
2. Реж [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Реж>
3. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
4. Почвы: характеристики и карты [Электронный ресурс]. – <https://ezrf.ru/poleznye-stati/pochvy-harakteristiki-i-karty>
5. СНиП 23-01-99 Строительная климатология
6. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
7. Свердловская область [Электронный ресурс]. – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Свердловская\\_область](https://ru.wikipedia.org/wiki/Свердловская_область)
8. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
9. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: Учеб. пособие – Томск: Изд-во ТПУ 2006.
10. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания/ А.И. Гаврилин, С.Г. Обухов, А.И. Озга – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.
11. Климова Г.Н. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие/ Г.Н. Климова, А.В. Кабышев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
12. Конденсаторные установки УKM 58 [Электронный ресурс]. – <http://khomovelectro.ru/catalog/kondesatornye-ustanovki/kondensatornye-ustanovki-ukm-58.html>
13. Провода самонесущие изолированные СИП-1, СИП-2, СИП-3, СИП-4 [Электронный ресурс]. – <https://all-energo.ru/store/kpp/provod/sip>

14. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1984.
15. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.
16. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
17. Логинова С.Е., Логинов А.В., Ударов В.М., Шийко А.П. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Книга 4. Система защищенных проводов напряжением 6-20 кВ. Том 2. Редакция 2. С-Пб: ENSTO – «РОСЭП», 2013 г.
18. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – 3-е изд., М.: Энергоатомиздат, 1987.
19. Кабель АПВБП - 10кВ [Электронный ресурс]. – <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvbp-10kv/>
20. АПВВнг [Электронный ресурс]. – [https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/apvvng-ls\\_kamkabel/](https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/apvvng-ls_kamkabel/)
21. Выбор экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на термическую устойчивость [Электронный ресурс]. – <https://raschet.info/vybor-jekrana-kabelja-s-izoljaciej-iz-sshitogo-polijetilena-na-termicheskiju-ustojchivost/>
22. СТО 56947007-29.240.30.010-2008 СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО «ФСК ЕЭС».
23. Вакуумные выключатели серии ВВУ-10. [Электронный ресурс]. – [https://www.electroshield.ru/upload/iblock/6cd/re\\_256.075\\_vvy10\\_25\\_electroshield.ru.pdf](https://www.electroshield.ru/upload/iblock/6cd/re_256.075_vvy10_25_electroshield.ru.pdf)
24. Выключатель элегазовый ВГТ-110. [Электронный ресурс]. – <http://zaokurs.ru/katalog/elektrotexnicheskoe-oborudovanie/vyisokovoltnoe-oborudovanie/vyiklyuchateli-elegazovyie/vyiklyuchatel-elegazovyyij-kolonkovyyij-vgt-110>

25. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. и др. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
26. Мельников М.А. Внутрицеховое электроснабжение: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
27. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч. 2 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
28. СП 2.2.1.1312-03. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий: Санитарно-эпидемиологические правила. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 40 с.
29. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ
30. Верховцев А.В. Государственное и социальное страхование. – М.: ИНФРА-М, 2006.
31. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
32. ГОСТ 12.1.005-88. «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
33. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
34. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности».
35. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
36. Федеральный закон от 28.12.2013 о специальной оценке условий труда с изменениями 2016 года
37. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»

38. ГОСТ 12.1.009-2017. «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения»
39. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
40. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95»
41. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с.
42. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».
43. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "Об охране окружающей среды" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2017)
44. ГОСТ 17.0.0.01-76 «Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения».
45. ГН 2.1.6.3492 – 17. «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.
46. ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений».
47. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
48. СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»
49. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
50. Методические рекомендации "Организация тренировок по эвакуации персонала предприятий и учреждений при пожаре и иных чрезвычайных ситуациях" (утв. Главным государственным инспектором РФ по пожарному надзору 4 сентября 2007 г. N 1-4-60-10-19)
51. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования».
52. Эргономика: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.В. Адамчук. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 254 с.

53. СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Приложение А

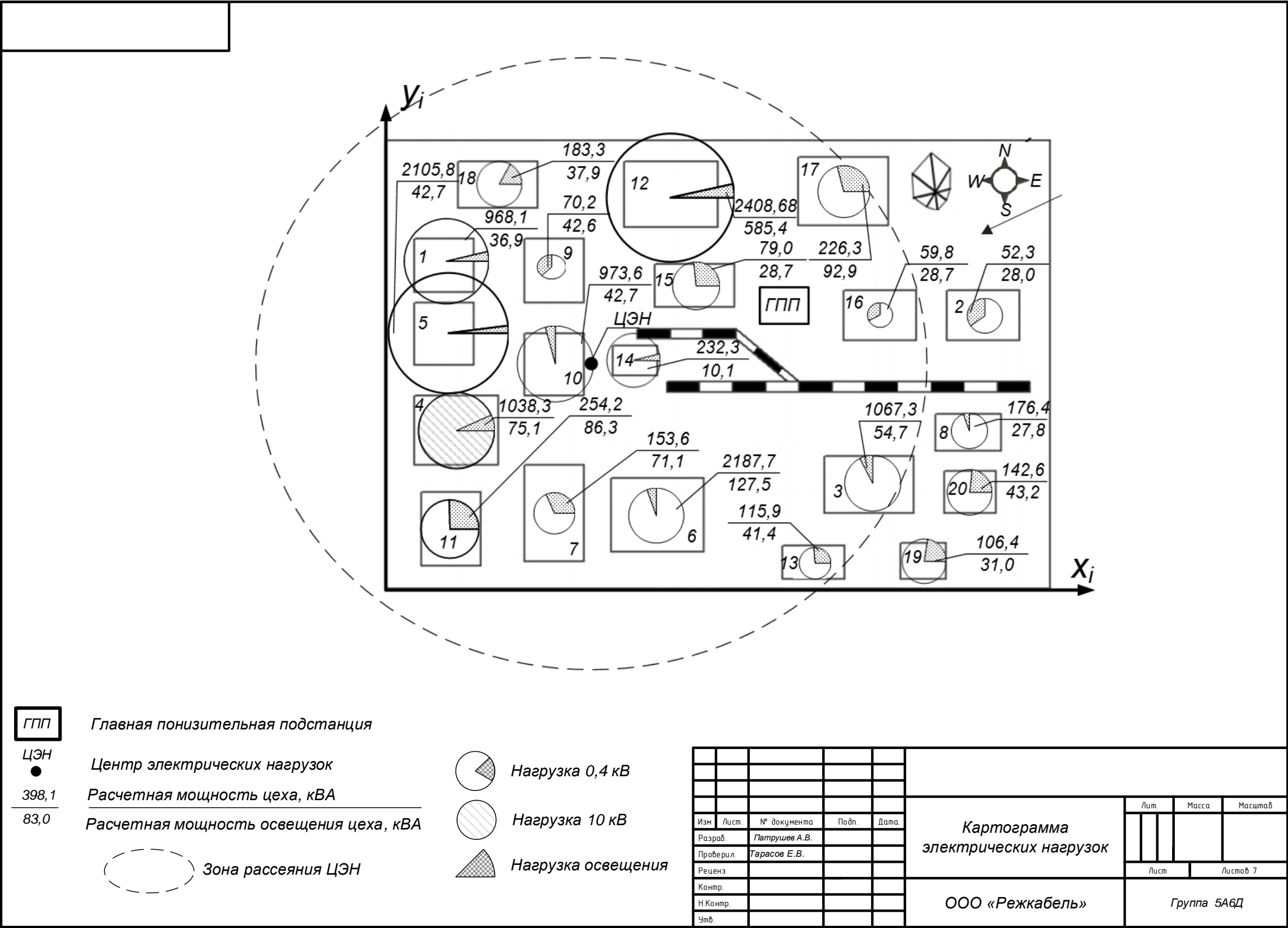


Рисунок А.1 – Картограмма нагрузок

Приложение Б

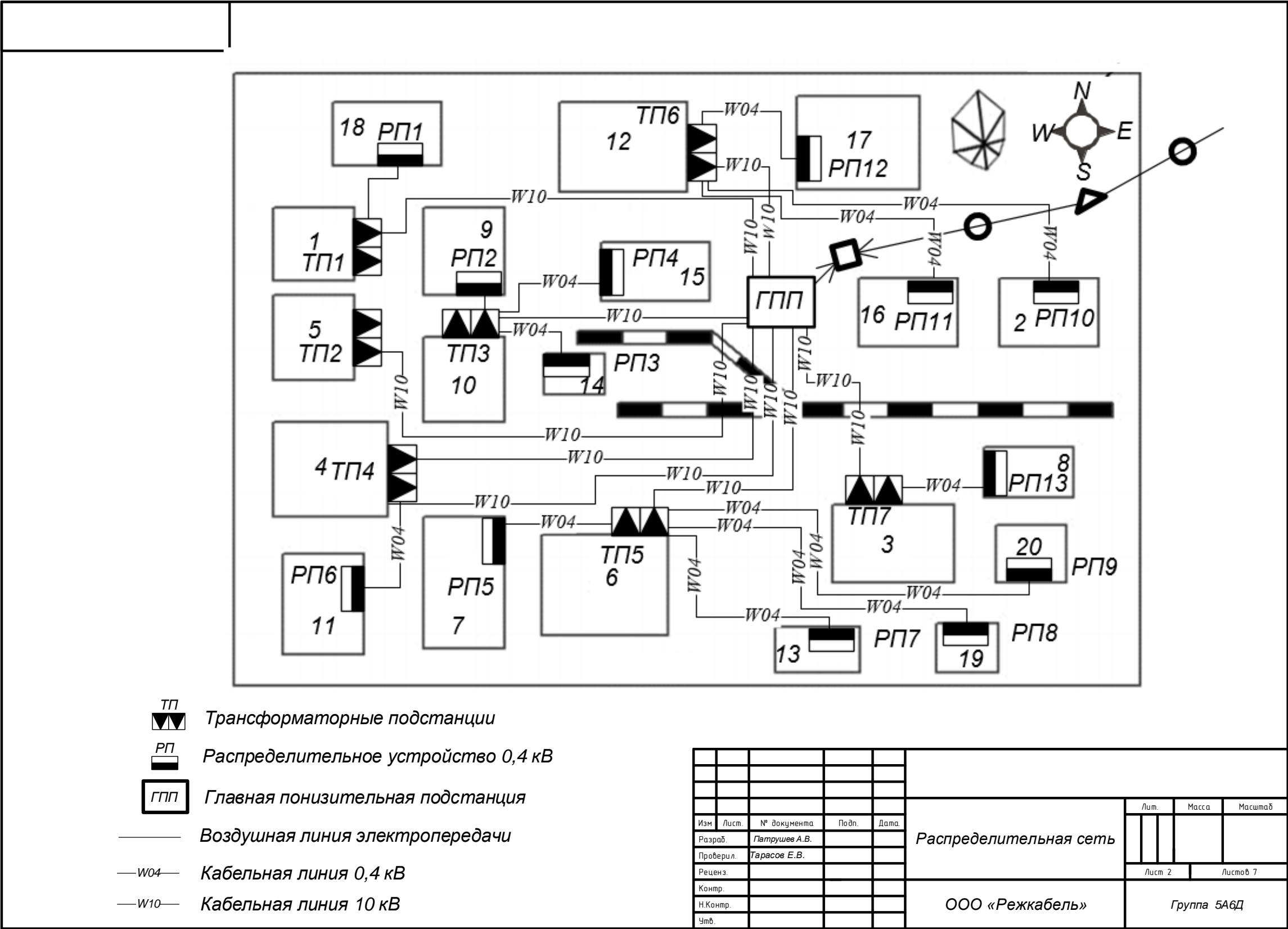


Рисунок Б.1 – План местности с нанесенными объектами и устройствами электроснабжения



Приложение В

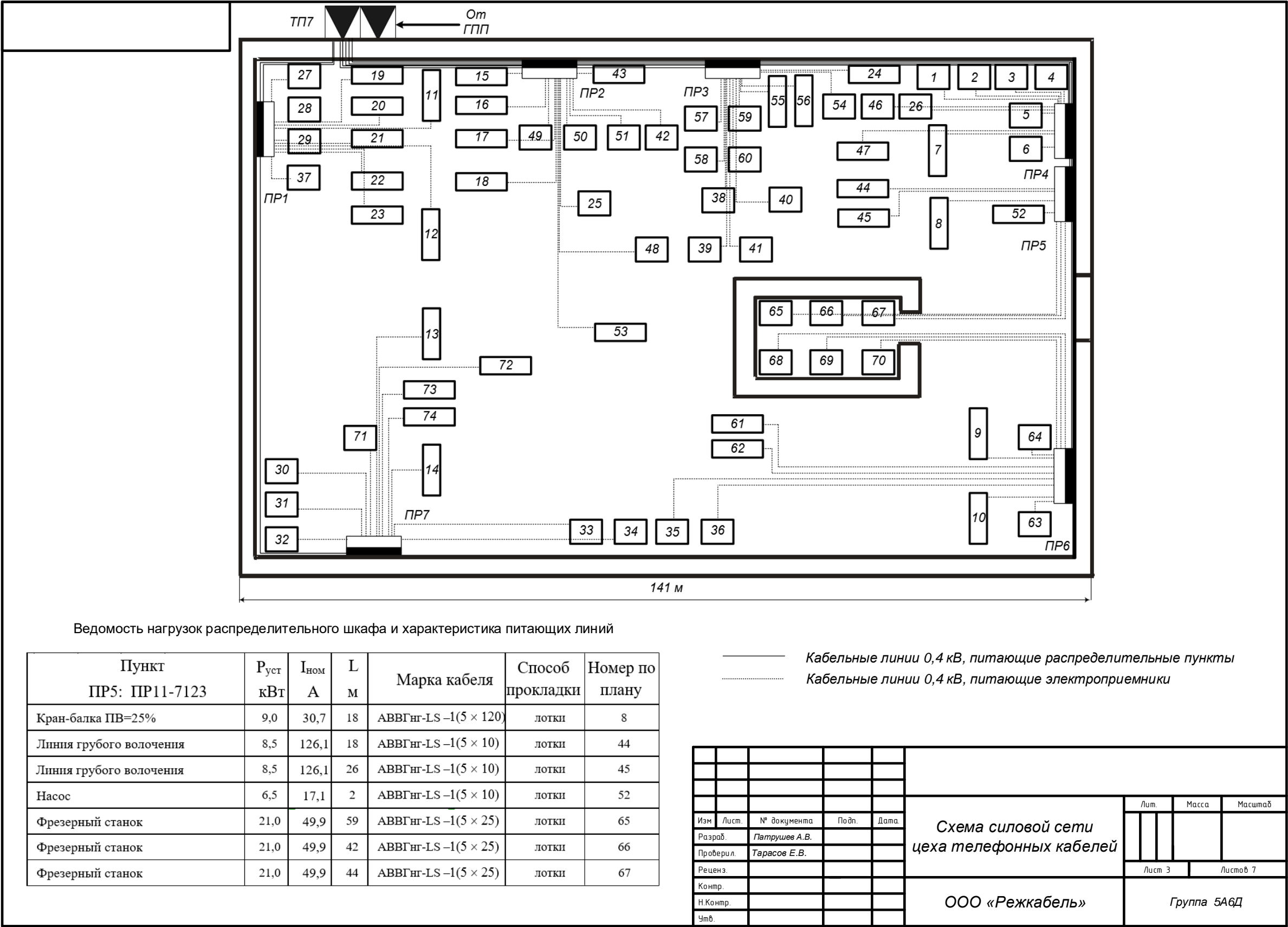


Рисунок В.1 – Схема силовой сети деревообрабатывающего цеха

Приложение Г

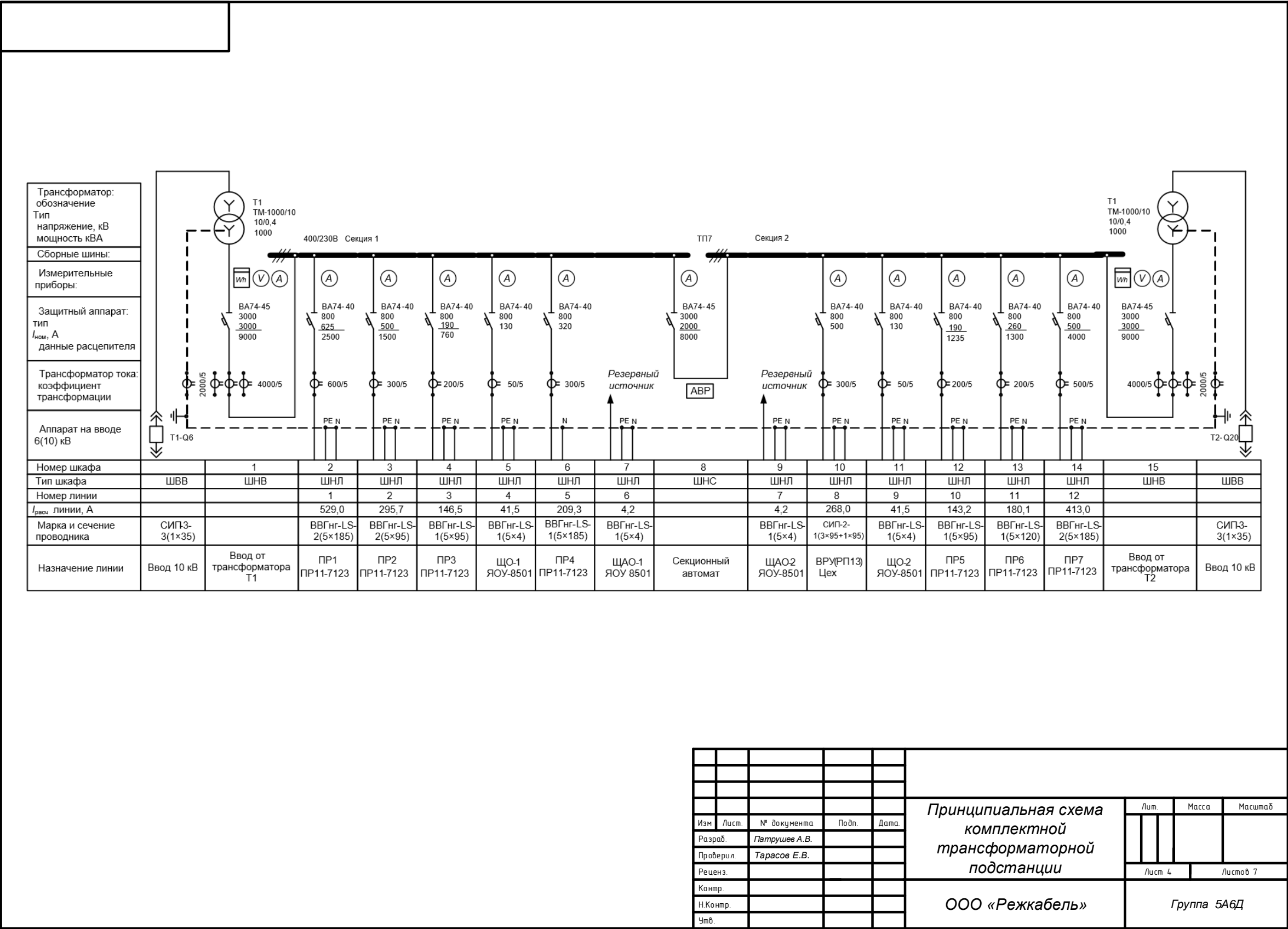
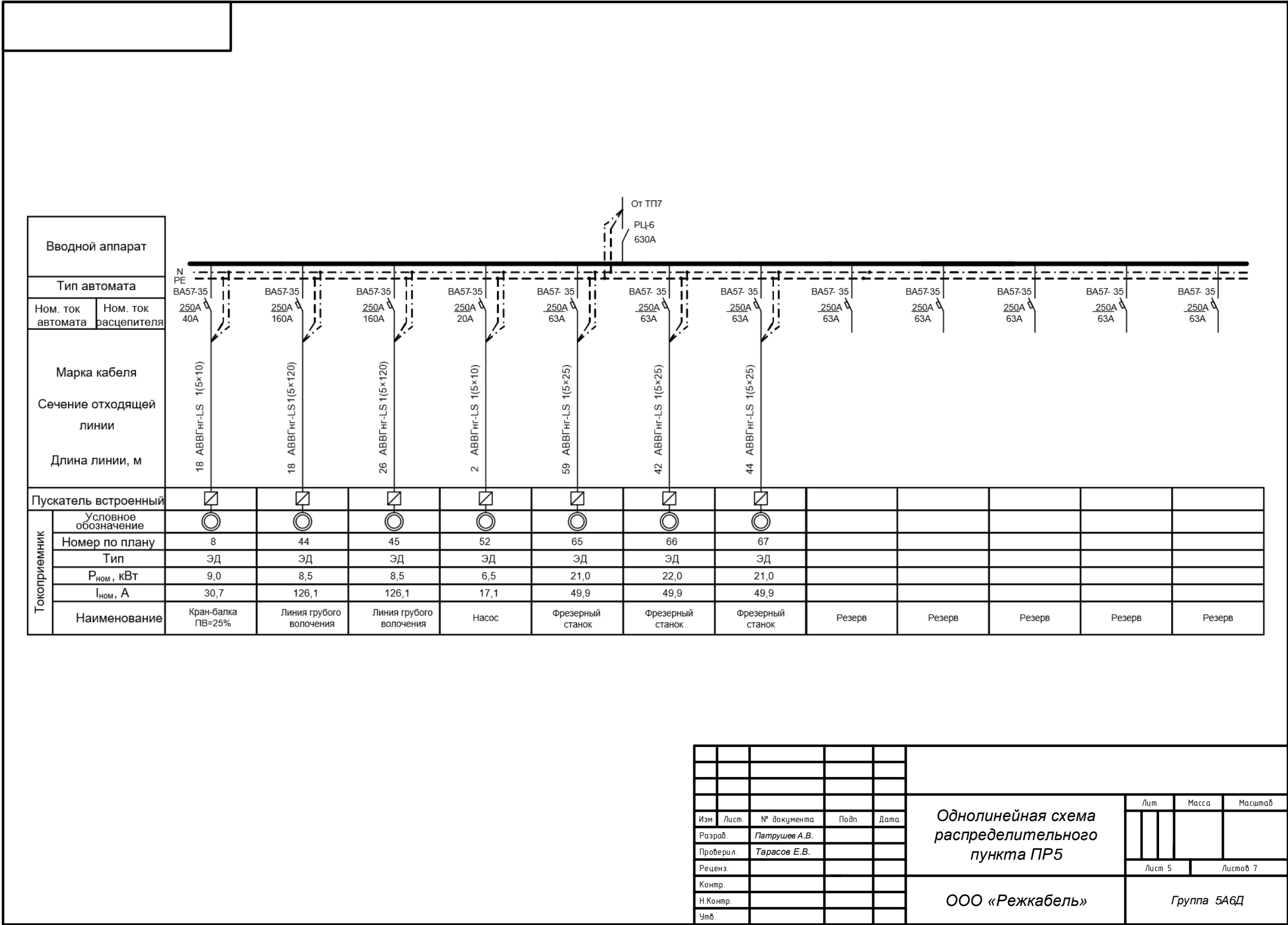


Рисунок Г.1 – Принципиальная схема комплектной трансформаторной подстанции

Приложение Д



Приложение Е

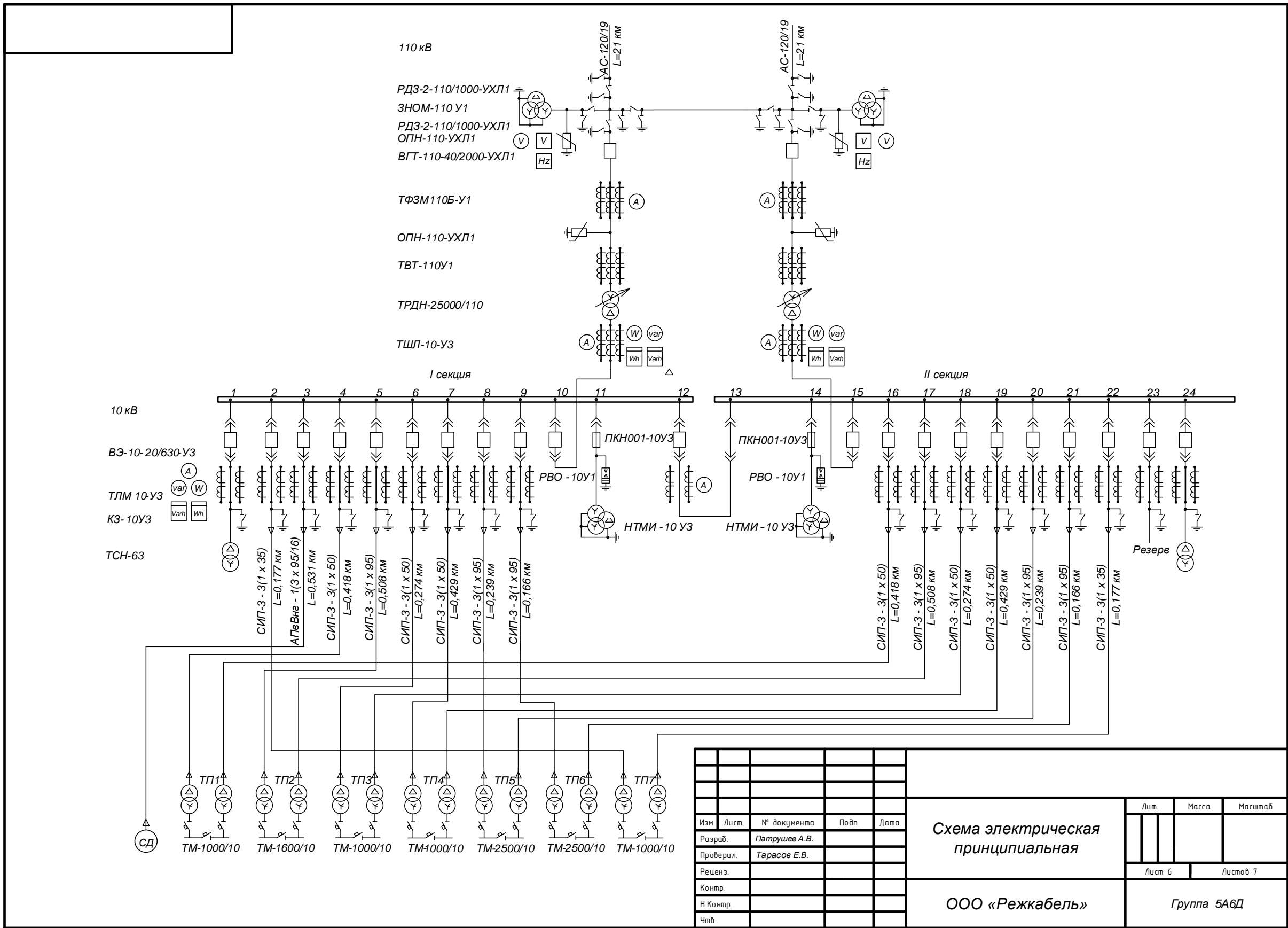
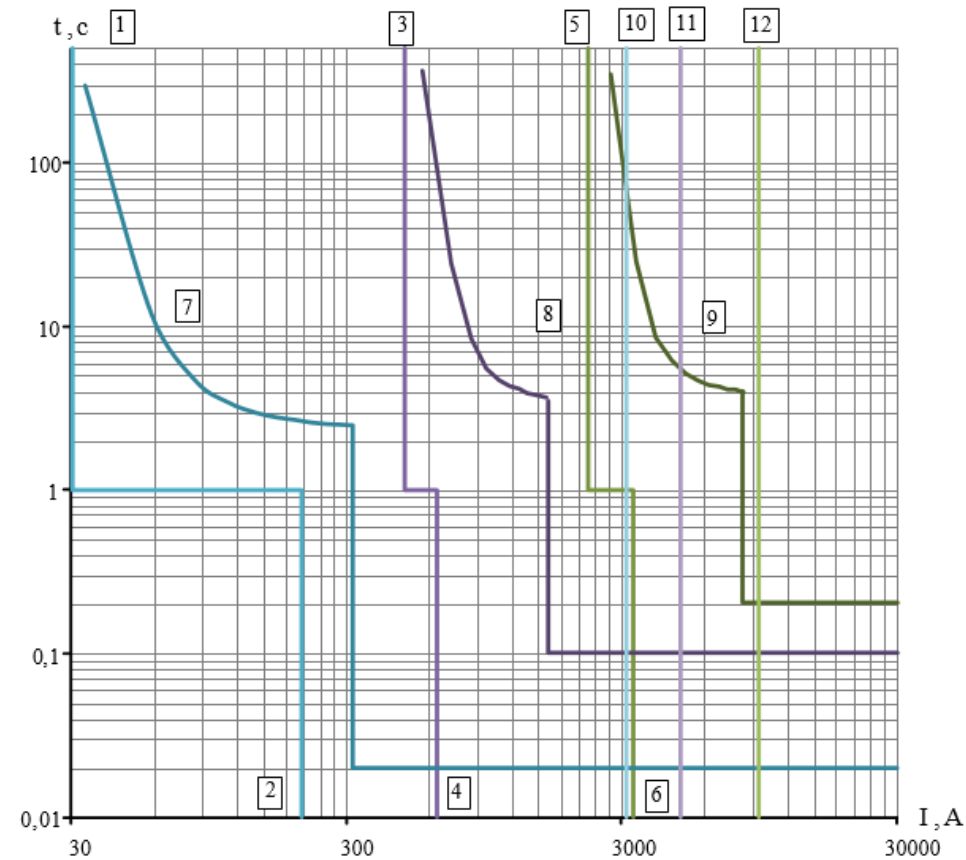
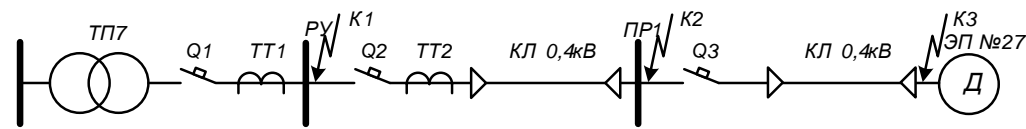
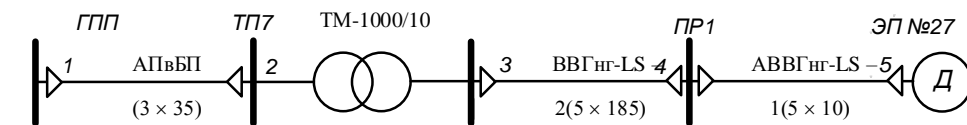


Рисунок Е.1 – Однолинейная схема электроснабжения предприятия

## Приложение Ж



Узел нагрузки	ТП1	ПР1	Вентилятор №27
Расчетный ток I, А	2339,8	529,0	–
Пиковый ток I <sub>пик</sub> , А	3193,4	658,2	–
Номинальный ток I <sub>ном</sub> , А	–	–	30,1
Пусковой ток I <sub>пуск</sub> , А	–	–	210,9
Ток КЗ I <sub>кз</sub> , А	9587,5	4989,3	3056,8
Тип аппарата	BA74 – 45	BA74 – 40	BA57 – 35
Условия срабатывания по току			
– при перегрузке I <sub>ном.расц</sub> , А	3000	625	40
– при КЗ I <sub>кз</sub> , А	9000	2500	320
Условия срабатывания по времени, с	0,2	0,1	0,02



					Эпюра отклонения напряжения Карта селективности			
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата				
Разраб.	Патрушев А.В.							
Проверил	Тарасов Е.В.							
Реценз								
Контр.								
Н. Контр.					ООО «Режкабель»	Группа 5А6Д		
Утв.								

Рисунок Ж.1 – Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности